

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE
SUR
LES EAUX THERMALES
DE
BAINS-LES-BAINS

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le Juillet 1936

à la Faculté de Pharmacie de Nancy

POUR OBTENIR

le grade de Docteur de l'Université de Nancy
(Mention Pharmacie)

PAR

M. Louis MONAL

Lauréat de la Faculté de Pharmacie de Nancy

Commission d'examen :

MM. SEYOT.....	Président.
CORDEBARD	} Juges.
DONZELOT..	

NANCY
IMPRIMERIE GEORGES THOMAS
Angle des rues de Solignac et Henri-Lepage
1936



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551909_0051

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE
SUR
LES EAUX THERMALES
DE
BAINS-LES-BAINS

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE
SUR
LES EAUX THERMALES
DE
BAINS-LES-BAINS

THÈSE

présentée et soutenue publiquement le Juillet 1936

à la Faculté de Pharmacie de Nancy

POUR OBTENIR

le grade de Docteur de l'Université de Nancy
(Mention Pharmacie)

PAR

M. Louis MONAL

Lauréat de la Faculté de Pharmacie de Nancy

Commission d'examen :

MM. SEYOT.	Président.
CORDEBARD	} Juges.
DONZELOT..	

NANCY
IMPRIMERIE GEORGES THOMAS
Angle des rues de Solignac et Henri-Lepage
1936

PERSONNEL ENSEIGNANT

DOYEN

M. PASTUREAU, O $\star$, I U $\otimes$.

ASSESEUR

M. LASSEUR, $\star$, I U , $\bullet$.

PROFESSEURS :

MM.

DOURIS, I U , $\bullet$, $\otimes$	Toxicologie.
PASTUREAU, O $\star$, I U , $\otimes$	Pharmacie chimique.
SEYOT, $\star$, $\otimes$, I U , $\bullet$, $\otimes$	Histoire naturelle.
LASSEUR, $\star$, I U , $\bullet$	Microbiologie
N... ..	Matière médicale.
N... ..	Chimie organique.
N... ..	Pharmacie galénique.

AGRÉGÉ LIBRE

M. GIRARDET, $\star$, I U Chimie et Toxicologie.

CHARGÉS DE COURS MAGISTRAUX

M. MEUNIER Pharmacie galénique.
M^{lle} FRANÇOIS Matière médicale.

CHARGÉS DE COURS :

MM.

VERNIER, I U	Zoologie.
CORDEBARD, $\otimes$, I U	Analyse chimique.
DONZELOT	Physique.
MARCHAL	Hydrologie.

CHEFS DE TRAVAUX :

MM.

VERNIER, I U	Microbiologie et Parasitologie.
CORDEBARD, $\otimes$, I U	Chimie et Analyse chimique.
STEIMETZ, I U	Micrographie.
DONZELOT (chargé de travaux).....	Physique.
RICHARD (chargé de travaux).....	Pharmacie.
PY (chargé de travaux).....	Chimie biologique et Toxicologie.

SECRÉTARIAT

M. TRIBOLET, I U Secrétaire.

DOYENS HONORAIRES :

MM. BRUNTZ, O $\star$, $\otimes$, I U , O $\bullet$, $\otimes$, $\otimes$, recteur de l'Université de Nancy.
SEYOT, $\star$, $\otimes$, I U , $\bullet$, $\otimes$, professeur d'Histoire naturelle.

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. GRÉLOT, $\star$, I U , $\bullet$
BRUNTZ, O $\star$, $\otimes$, I U , O $\bullet$, $\otimes$, $\otimes$

La Faculté a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend ni les approuver ni les imputer.



A LA MÉMOIRE

DE MON PÈRE

AVANT-PROPOS

Il nous est agréable en présentant ce travail sur les eaux thermales de Bains, de remercier ceux qui nous ont aidé de leurs conseils et de leur expérience.

Nous remercions M. le Professeur honoraire GRÉLOT, avec qui nous avons eu le plaisir de travailler à Bains, en juillet 1933, de nous avoir confié ce sujet de thèse et d'avoir guidé nos premières recherches.

M. le Professeur SEYOT, doyen honoraire de la Faculté de Pharmacie, a bien voulu accepter de présider notre jury; c'est pour nous un vif plaisir de retrouver notre éminent Maître, et de pouvoir lui témoigner ici, l'hommage de notre reconnaissance.

M. le Professeur LÉPAPE, sous-directeur de l'Institut d'Hydrologie au Collège de France, dont chacun connaît les importantes recherches sur la radioactivité des eaux et des gaz, a bien voulu nous accueillir dans son Laboratoire, où, sous sa direction, et celle de son assistant M. GESLIN, nous avons été initié aux méthodes de mesures de radioactivité.

Puis, M. le Professeur DONZELOT, agrégé des Sciences Physiques, toujours prêt à accueillir les chercheurs a mis, avec obligeance à notre disposition, l'outillage de son laboratoire de Physique qui fait honneur à notre Faculté. Grâce à sa bienveillance et

ses conseils, nous avons pu mener à bien ce travail; nous garderons un bon souvenir du temps passé dans son laboratoire.

Nous remercions M. le Professeur CORDEBARD de s'être intéressé à nos recherches chimiques, et d'avoir mis à notre disposition une documentation qui nous fut précieuse.

Nous assurons également de notre reconnaissance M. Emile MONAL, président du conseil d'administration de la Société Thermale de Bains, M. Jean MATHIEU, administrateur délégué, qui facilitèrent nos recherches et mirent à notre disposition un personnel dévoué. Nous les remercions vivement de leur amicale collaboration.

Nous sommes heureux d'exprimer à M^{me} Auguste MATHIEU toute notre gratitude et le souvenir ému que nous gardons de son mari, le regretté Docteur MATHIEU, animateur d'une station qui nous laisse de chers souvenirs.

Enfin, nous gardons le meilleur souvenir de M. Maurice THIÉBAUT, ingénieur-géographe, avec qui nous avons passé de délicieux moments durant nos recherches géologiques aux environs de Bains.

SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Bains-les-Bains, jolie petite ville vosgienne, est un chef-lieu de canton de l'arrondissement d'Epinal, à 77 kilomètres au sud de Nancy, à vol d'oiseau. Bains-les-Bains se trouve à 32 kilomètres environ au S.-E. des stations de Vittel et Contrexéville. De nombreux écarts et hameaux prolongent le petit centre urbain, parsemant leurs maisons le long des routes (Le Million, les Fontenelles, le Raval), etc., dans la vallée du Bagnerot, sur le flanc des collines gréseuses gainées de magnifiques forêts de hêtres, chênes et conifères.

Vallée riante, large, aux promenades faciles et variées, la région de Bains, offre aux malades en traitement les distractions saines et bienfaisantes de la nature, un air pur et vif, en plus de ses eaux thermales, maintenant connues dans la France entière et à l'étranger.

Les stations thermales furent toujours des lieux de pèlerinage attirant les malades et intrigant les savants. Les chimistes, autrefois, et de nos jours les physiciens, essaient de trouver par les moyens dont dispose la science de leur époque, les raisons des bons effets curatifs constatés, entreprise autrefois difficile, maintenant encore hardie.

Il y a plusieurs siècles déjà, quelques bons esprits ont pensé, bien avant les découvertes de la physico-chimie, et des phénomènes de radioactivité, qu'il fallait attribuer à un « fluide » l'action curative étonnante des eaux de Bains.

NICOLAS (6), médecin de la Cour de Lorraine, parle en 1778 d'un fluide électrique présent dans les eaux thermales de Bains, et BERTHEMIN, en 1615, attribue à un fluide vital, l'activité des eaux thermales des Vosges.

D'autres chercheurs, dont nous parlerons dans la partie chimique de ce travail, ont essayé, sans grand succès, d'isoler les principes curatifs des eaux. Sans prétendre à celà, nous avons pensé faire œuvre utile en donnant des eaux thermales de Bains une étude comparative aussi complète que possible tout en restant dans le cadre des recherches d'hydrologie.

En abordant ce travail, nous n'avons pas eu la prétention d'épuiser un sujet, mais de choisir parmi tant de procédés physiques et chimiques, capables d'augmenter nos connaissances d'hydrologie de la région, quelques méthodes de mesures modernes dont l'application n'avait pas encore été entreprise. Chemin faisant nous avons pu comparer quelques résultats, déjà obtenus, avec les nôtres. Nous laissons encore beaucoup à faire, et nous serons satisfait si ce travail a pu contribuer à mieux faire connaître les eaux thermales, dont l'efficacité a été soulignée à plusieurs époques de leur histoire et dont les applications thérapeutiques se sont montrées, ces dernières années, d'une action curative surprenante.

HISTORIQUE

La Station de Bains (Balneum) était connue des Romains. Les Légions de la Saône et de Champagne utilisèrent pour les malades et les blessés ses eaux thermales dont les Gaulois avaient certainement apprécié depuis longtemps les vertus curatives.

A diverses reprises, et plus particulièrement lors des travaux effectués en 1752 et 1845, on découvrit des médailles grecques et romaines jetées en ex-voto au griffon des sources. Ces médailles étaient à l'effigie de plusieurs empereurs romains : AUGUSTE, AGRIPPA, DOMITIEN. On trouva même un petit grenat portant gravé en creux, la tête de CARACALLA.

L'histoire des Bains de cette époque est assez mal connue :

LE VIEUX BAIN

Dans un bâtiment, le Bain Romain actuel, on retrouve encore des bétons d'origine romaine qui attestent les travaux de captage et l'aménagement de piscines. Nous avons pu voir ce béton qui est extrêmement dur et très résistant sous les outils de nos ouvriers. Lors des travaux de restauration effectués en 1845 au Bain Romain, l'ingénieur chargé de ces travaux fit sauter à la mine une partie de l'enceinte

de béton très épais qui gênait les travaux de fondation entrepris.

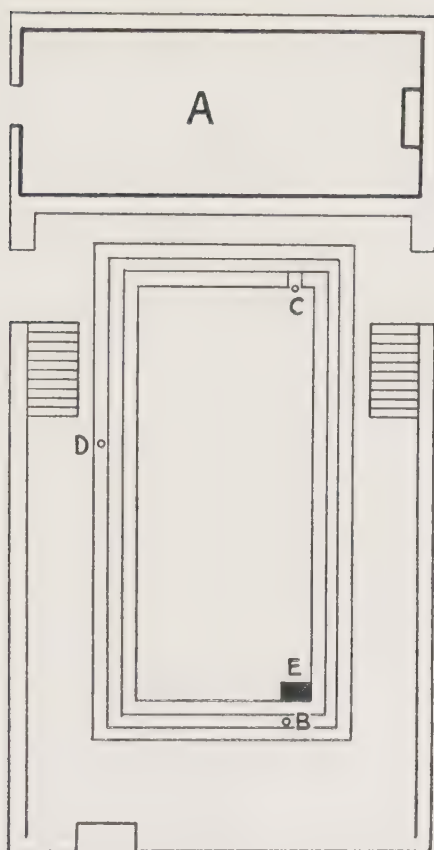
Au XVII^e siècle les sources n'étaient plus régulièrement utilisées. Elles coulaient à ciel ouvert dans une sorte de piscine (vestige des anciens travaux romains) dont l'eau tiède servait à l'usage des habitants.

Les propriétaires de ces sources, les Seigneurs d'HAVRE et DOMMARTIN partis en guerre en Espagne et aux Indes laissaient le vieux Bain sans protection et sans entretien. Aussi ces eaux étaient-elles polluées par toutes sortes d'immondices.

Un peu plus tard, en 1704, l'Assemblée Communale de Bains, qui avait la gérance des biens communaux et féodaux, adressa une requête au Duc de Lorraine LÉOPOLD, pour protester contre l'état lamentable où se trouvaient les bassins du fait que les Seigneurs de FONTENOY ne s'en occupaient pas.

La Communauté proposa d'autoriser un habitant de Bains, le sieur Jacob NONNÉ, à administrer les bains et à engager de ses propres deniers toutes les dépenses qui paraîtraient utiles. Ce n'est que 10 ans plus tard que cette autorisation fut accordée à Jacob NONNÉ par le Duc de Lorraine.

Le Vieux-Bain fut restauré, le bassin couvert, et entouré d'un enclos. L'usage fut d'abord gratuit, mais Jacob NONNÉ ayant eu des frais élevés, décida de demander aux baigneurs une modeste rétribution. Les Thermes bien entretenus connurent alors une ère de réelle prospérité. Les baigneurs affluèrent, attirés par la bonne organisation et aussi par la renommée



PLAN DU BAIN ROMAIN EN 1725

A, Chapelle, construite de telle façon qu'un des murs est commun avec l'établissement de Bains. Autel vers l'est.

En C, la Source Saint-Colomban.

En D, la Source Souterraine.

En B, la Source Robinet de Fer.

des eaux dont les vertus curatives étaient propagées dans toute la région.

Mais cette renommée attira également l'attention des anciens propriétaires. Les Seigneurs DE FONTENOY regrettaient d'avoir cédé, pour un prix modique, cette source de revenus. Ils intentèrent un procès à Jacob NONNÉ, l'accusant d'usurpation.

Cette accusation n'avait aucune base, l'acquisition ayant été fort régulière. Néanmoins, le soi-disant « usurpateur » ne put lutter contre de si puissants adversaires. Il perdit son procès, fut dépossédé, et reçut seulement une légère indemnité.

Jacob NONNÉ, dont le nom doit être retenu, puisqu'il fut le véritable organisateur, et on peut dire le créateur de l'établissement thermal, se voyait retirer le fruit de longs efforts. Il était à peu près ruiné, et ne se consola jamais.

Les Seigneurs, redevenus propriétaires des Sources allaient-ils au moins continuer son œuvre?... On pouvait le supposer. Malheureusement ils avaient d'autres soucis, négligèrent l'organisation des sources et ne firent pas les améliorations nécessaires qu'un décret de la Cour de Lorraine avait ordonnées.

Tout était à l'abandon; les baigneurs devenaient rares, les doléances affluèrent. C'est pourquoi une Commission déléguée par le Duc LÉOPOLD se rendit à Bains en 1725, aux fins d'une enquête. Cette Commission étudia la topographie des sources et rédigea son rapport.

Ce rapport était accablant pour la gestion des Seigneurs DE FONTENOY qui, par leur négligence avaient

causé le marasme actuel. Ils eurent beau protester contre le rapport et s'inscrire en faux contre ses conclusions, d'importants travaux de réfection furent ordonnés et commandés en 1726.

En 1734, un règlement fut établi concernant les sources. Il prescrivait aux infirmes de s'adresser au médecin des eaux, fixait le prix d'une saison à 20 ou 30 sous, et accordait la gratuité aux indigents. Il était sévèrement défendu de souiller l'eau du bain, d'y laver le linge, de s'y baigner après certaines heures. Interdiction de faire du bruit après la sonnerie des cloches. Les « baignants » devaient être bien traités, ainsi que leurs gens et domestiques.

En 1771, le Bain Vieux fut à nouveau restauré. Deux piscines occupaient la partie centrale. Mais le confort qui convenait manque encore totalement. Voici à ce sujet ce que dit l'Abbé TEXIER (17). Deux bassins rectangulaires mal protégés de la pluie et du froid. Quelques cabinets, vestiaires fort obscurs, une seule cabine de douche, des étuves mal placées, une mauvaise répartition des sources, qui n'assurent pas une température uniforme dans les piscines.

C'est seulement en 1840 que la nouvelle construction comporte trois piscines de traitement de températures différentes et les cabines aménagées d'une façon pratique pour les baigneurs. Cet établissement qui est actuellement exploité sous le nom de Bain Romain, a reçu, de nos jours, toutes les transformations nécessaires pour l'adapter aux exigences du traitement hydrothermique moderne.

Telle est en résumé l'histoire du Vieux Bain ou Bain Romain.

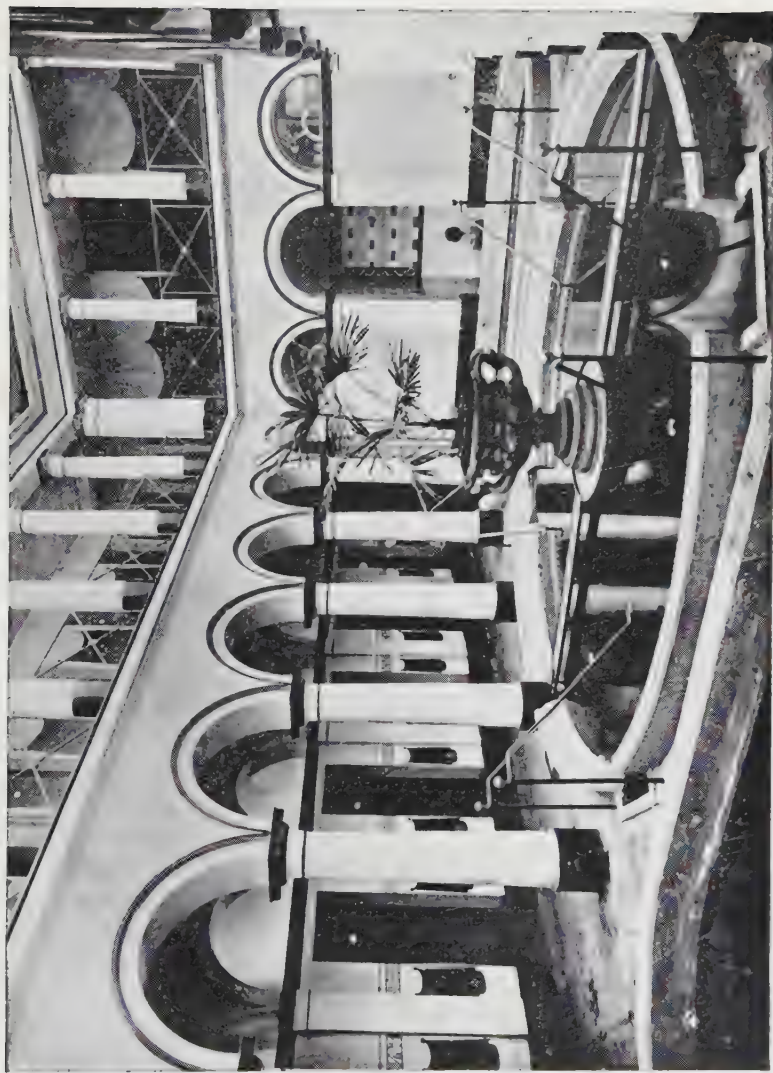
LE BAIN NEUF

Jusque vers 1700, les Sources thermales non captées coulaient sans utilisation le long du Bagnerot formant une mare d'eau tiède.

Ces sources qui alimentent de nos jours l'Etablissement du Bain de la Promenade ne paraissent pas avoir été utilisées pendant l'occupation romaine. Ce n'est que sous le règne du Duc LÉOPOLD qu'elles furent captées dans un bâtiment qui fut appelé le Bain Neuf. En 1749, l'ingénieur BALIGAUD d'accord avec le docteur KAST, médecin du roi STANISLAS, fit une étude détaillée de ces sources et conclut dans son rapport à l'obligation pour les Seigneurs DE FONTENOT, d'assurer l'exploitation de ces nouvelles sources et tous les aménagements indispensables à l'hygiène de la station. Malgré la résistance des Seigneurs, dès 1750, les travaux commencèrent. Le 5 mai 1753, les bâtiments du Bain Neuf ou Bain Casquin étaient terminés.

Le Bain Neuf formait une construction vaste mais assez peu élégante, contenant un bassin ovale divisé en deux compartiments de températures différentes : sur la partie Ouest un petit salon servait de salle de repos. Cent ans plus tard, ce bassin fut remplacé par 3 bassins ovales, pouvant contenir chacun 40 personnes ; les températures de ces trois piscines étaient respectivement de 25°, 27°, 30°. A l'entour, se trouvaient 18 cabines et vestiaires et 12 baignoires individuelles. Ces améliorations ne furent terminées que vers 1845.

Au fond de la salle, dans la partie Ouest, il y avait



Intérieur du Bain Romain



Hall de la buvette au Bain de la Promenade

4 grands cabinets de douches avec bassin d'immersion. La personne qui reçoit la douche est à demi-plongée dans l'eau chaude, en sorte que les parties du corps découvertes et soustraites à l'action de la colonne d'eau ne sont pas exposées au refroidissement.

Dans un cabinet voisin, se trouvaient deux sources prises en boisson, la « Savonneuse » et un filet de la « Grosse Source ». A l'autre extrémité de la salle, on avait aménagé neuf cabines avec baignoires, une cabine de douches descendantes et trois cabines de douches.

Après la Révolution, les bains furent mis en adjudication à Darney en 1795, et vendus 83.000 livres à plusieurs habitants de Bains qui les exploitèrent. Certains cédèrent leur part au citoyen Joseph FALATIEU. Celui-ci, vers 1800 fit apporter de nouveaux aménagements, rendus nécessaires par l'état d'abandon où l'établissement était tombé. Plus tard, en 1839 et 1841, l'Etat octroya des subventions destinées à aider le propriétaire à poursuivre les améliorations apportées aux deux Etablissements de Bains.

A la mort de Joseph FALATIEU, les Thermes furent achetés par le Général Baron DE VILATTE qui entreprit divers sondages pour améliorer le captage de plusieurs sources du Bain de la Promenade. Malheureusement, en 1874, un incendie détruisit entièrement le bain de la Promenade qui ne fut reconstruit qu'en 1881 ; la station périclita de nouveau.

En 1900, Bains ne recevait plus que quelques baigneurs. Les deux établissements de bains étaient en

mauvais état. C'est alors que le Docteur Auguste MATHIEU s'intéressa à cette station. Il comprit l'action bienfaisante des eaux, et consacra son activité à développer ces thermes. L'impulsion donnée fut des plus vive; on engagea des sommes importantes pour remettre en état et développer les possibilités de traitement. De 1909 à 1911, tout fut rénové, et le nombre des baigneurs ne cessant d'augmenter, apporta à la ville de Bains une prospérité jusqu'alors inconnue.

1914. — Survint la guerre avec son cortège de difficultés. Les établissements furent provisoirement fermés, mais dès 1920 la vie de la station reprit son développement. Le regretté Docteur Auguste MATHIEU, puissamment aidé par M. Emile MONAL, son ami de toujours, s'attache à rendre à Bains son rang de station thermale.

L'œuvre du Docteur Auguste MATHIEU fut considérable. Grâce à sa valeur scientifique et à sa parfaite connaissance des eaux, il fixa les indications thérapeutiques de la station et spécialisa l'usage des eaux au traitement des maladies artérielles et des troubles neuro-végétatifs. De nombreuses observations cliniques furent publiées par les soins du Docteur Auguste MATHIEU et les médecins cardiologues de cette station.

Actuellement, tout est aménagé pour donner aux malades les meilleurs soins. Le Bain Romain, qui garde l'architecture des thermes anciens est confortablement agencé. Un nouvel établissement de Bains, de style moderne, a remplacé l'ancien Bain de la Promenade, dont il garde le nom: Une piscine centrale au

rez-de-chaussée, des salles de douches, de nébulisation, des piscines particulières aux étages pour bains aérogazeux constituent avec la cure de boisson, l'air vivifiant et sédatif, la base même d'un traitement parfaitement étudié.

Les résultats curatifs et la renommée n'ont pas tardé à soutenir les efforts des administrateurs et attirèrent rapidement l'attention de médecins français et étrangers sur cette station.

Telle est en résumé l'histoire des Thermes de la Ville de Bains; nous allons, dans les pages qui vont suivre, étudier la géologie de la région avant d'entreprendre l'étude des sources et leur analyse.

PREMIÈRE PARTIE

Hydrogéologie

Une étude géologique de la région de Bains-les-Bains permettra de mieux saisir l'origine des eaux thermales, de leur minéralisation, et de leur radio-activité.

Les précisions que nous apporterons seront utilement suivies sur la carte que nous avons dressée d'après plusieurs documents, en particulier la carte géologique détaillée à l'échelle de 1/80.000 de M. VELAIN et nos recherches personnelles sur le terrain (10). Cette carte établie au 1/50.000^e figure à la fin de cette étude.

Nous examinerons successivement la Vôge, ses rapports avec le massif vosgien, enfin les diverses roches qui constituent le sous-sol de la région de Bains.

CHAPITRE PREMIER

LA VÔGE ET LE MASSIF VOSGIEN

La région qui nous intéresse est la Vôge : on écrivait jadis Bains-en-Vôge ; la graphie Bains-en-Vosges est fautive bien qu'on la rencontre fréquemment.

La Vôge c'est, si l'on veut, le glacis des Vosges, le flanc sud-ouest du noyau granitique et gneissique vosgien, plaqué d'une couche de grès et de terrains alluvionnaires plus récents. C'est la région des Monts-Faucilles des géographes, dénomination qui concerne plus exactement la région de Neufchâteau, Vittel et Mirecourt, bien que les cartes et les atlas, même les plus récents, mettent Bains-les-Bains dans les Monts-Faucilles.

On peut dire encore que la Vôge est la façade du Plateau Lorrain sur la dépression de la Saône, seuil plutôt que chaîne de montagnes, bien que quelques buttes atteignent près de 600 mètres : Colline du Million (400 mètres), Haudompré ou Haut-Domprey, à l'Est de Bains (589 mètres).

(1) La crête des Faucilles est constituée, en effet, par le Muschelkalk, calcaire coquillier, tandis que la région de Bains et la forêt de Darney sont formées de grès triasiques, assise inférieure du trias. Le trias (ère secondaire) a été divisé en trois étages : les grès vosgiens et bigarrés (Bains), le calcaire coquillier (Vittel), et le Keuper ou marnes irisées.

Puisque la Vôge est le talus, le rebord du Massif Vosgien, son histoire demeure intimement liée à celle du massif.

La chaîne des Vosges est fort ancienne, ayant fait partie du plissement hercynien.

A l'époque carbonifère, une énorme chaîne couvrait toute la Lorraine, avec des sommets sans doute très élevés.

Rabotée par l'érosion, la chaîne hercynienne fut réduite à l'état de pénéplaine ; il se produisit en même temps un mouvement général d'affaissement ainsi que des dislocations qui donnèrent passage à des matières éruptives.

Arrivant du Sud-Est, la mer triasique recouvrit entièrement cette région déprimée. Il s'y fit une sédimentation active. Ce furent d'abord les grès rouges permien, puis les grès vosgiens, puis les grès bigarrés, enfin le calcaire coquillier et le Keuper.

L'immersion dura jusqu'après le bathonien. Cette couverture a été rapidement enlevée par l'érosion dans la partie centrale et actuellement ne subsiste plus que dans la partie septentrionale (Vosges Gréseuses) et sur le rebord sud-occidental du Massif en partie dans la Vôge, la région de Bains-les-Bains.

Le relief du sol s'explique par les dislocations et l'action érosive des eaux. Ces dislocations d'origine hercynienne constituent la tectonique de la région de Bains. Elles jouent vraisemblablement un rôle prépondérant dans la montée des eaux thermales.

On admet généralement que deux phases orogéniques importantes ont marqué le système hercynien.

L'une durant le viséen a été très intense, la seconde après le permien est plus atténuée. Ces plissements ont déterminé aux environs de Bains des affleurements de direction varisque et parfois aussi armoricaine (NW-SE).

A la direction varisque, correspond à Thunimont la faille de Hautmougey, la direction des Vallées du Coney et du Bagnerot, le relief des Monts de Gruely au flanc desquels coule la Fontaine Chaude de Grurupt.

Un autre système de failles conjuguées mais d'orientation armoricaine forme avec cette faille un angle de 77° . A ce système appartient la faille thermo-minérale de Bains-les-Bains, visible sur une longueur de près de 6.000 mètres du Bois du Chanot à l'Etang le Dé, proche du Noirmont (575 mètres) et coupe la ville dans le voisinage du Parc et du Bain Romain, traversée par la route nationale N° 64 de Mézières à Belfort.

Plusieurs autres failles de la région possèdent la même orientation. Citons en particulier au Nord de Bains la faille qui traverse Xertigny, et au Sud la longue faille de Trémonzey, allant de la vallée du Coney à Fougerolles. Elle a imposé sa direction au ruisseau de l'Etang de Falvinfoing et limite au nord l'Etang des Trémeures.

Cette faille donne également naissance à des eaux thermales précisément à l'endroit où elle coupe le lit de la Semouze : aux Forges de la Chaudeau.

Les deux stades du plissement hercynien ont donc laissé une empreinte très nette dans la topographie de la région de Bains.

Enfin le volcanisme et les phénomènes séismiques en produisant les dislocations en profondeur, ont certainement joué un rôle important dans la venue des eaux thermales. L'histoire a noté le tremblement de terre de 1682 qui renversa une partie des maisons de Bains et détruisit la ville de Remiremont; la dureté des massifs granitiques ne donnant aux roches qui constituent le sous-sol de cette région aucune malléabilité, il s'en suivit que des failles profondes apparurent aux moments des grandes dislocations du plissement alpin, époque miocène.

CHAPITRE II

LES TERRAINS ET LES ROCHES

Il nous faut maintenant examiner les différents terrains qui affleurent aux environs de Bains-les-Bains. En étudiant leur répartition, nous pourrons mieux comprendre leur lien avec les venues d'eaux minérales, et quels caractères chimiques ou physiques ils cèdent aux eaux qui les traversent.

Nous examinerons successivement :

- 1° Les roches granitiques ;
- 2° Les terrains sédimentaires.

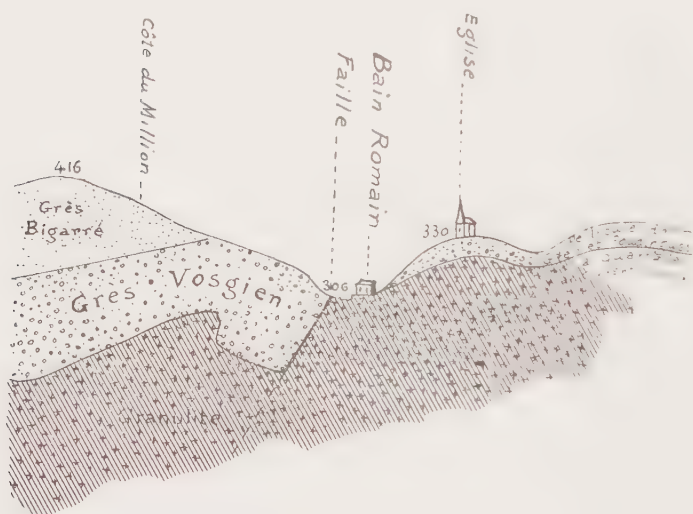
ROCHES GRANITQUES

En jetant un regard sur la carte géologique que nous avons dressée, on constate que les roches granitiques acides, telles que les granites et la granulite, n'affleurent pas naturellement aux environs de Bains.

Alors que le granite commun, souvent porphyrique, forme les massifs principaux de la chaîne des Vosges et que la granulite constitue le sol même des environs de Remiremont, seules, les dislocations importantes du sous-sol de la région de Bains, en produisant des failles, ont pu amener la granulite en surface.

Cette granulite forme, dans la région de Bains, le soubassement des grès permians et triasiques. C'est une variété de granite; elle en diffère principalement par la présence à côté du mica noir (ou biotite) de mica blanc (ou moscovite).

La présence de cette granulite est importante à sou-



ligner car elle constitue une des lèvres de la longue faille thermominérale de Bains, dont nous avons causé précédemment, ainsi que la faille hydrothermale parallèle de Trémonzey aux forges de la Chaudeau. Il est donc certain que les eaux thermales de Bains, en longeant cette faille, ou en parcourant les diaclases de la granulite, empruntent quelques éléments de leur minéralisation.

Cette granulite affleure encore à quelques autres endroits dans la vallée du Coney, à la Pipée, à Fontenoy-le-Château. On la retrouve également dans la partie supérieure de la vallée du Coney, à l'Est de Thunimont et plus au sud, entre la Basse-Jean-Melin et le bois de la Chèvre, où par suite d'une faille transversale, coupant en biais la vallée, elle disparaît sous le grès des Vosges.

La granulite présente souvent différents degrés d'altération. La roche est parfois délitescente, formant un bon sable de construction, Côte de Gruey, de la Pipée, de la Landre, souvent elle prend une teinte verdâtre due à la présence de stéatite.

On y voit des fissures remplies de quartz et d'inclusions de sulfate de baryte.

D'autres variétés de roches granitiques se retrouvent également, aux environs de Bains. Ce sont les roches granitiques basiques, c'est-à-dire des granites plus ou moins métamorphisés. Leur composition chimique révèle une plus faible teneur en silice et la présence de métaux alcalino-terreux ou de fer en quantité importante.

Ce sont principalement les granites à amphiboles que l'on trouve dans la vallée de la Chaudeau, entourant le plateau boisé de la Grande-Mouille. La roche grisâtre bien homogène sur de grandes étendues fournit une pierre de taille estimée.

Le fond de la vallée du Coney présente des roches et des poudingues à pâte euritique.

Enfin, aux environs de Fontenoy-le-Château on trouve des leptinites gneissiques et des inclusions de fer oligiste.

On voit, par ces détails, que la région de Bains présente à côté de roches très siliceuses, toute une gamme de roches granitiques plus ou moins profondément dioritisées au contact de terrains d'âge géologique différents.

TERRAINS SÉDIMENTAIRES

Le noyau archéen du massif vosgien est dans la région de Bains recouvert d'un puissant manteau de grès. Cette formation s'explique aisément.

Au début de la mer permienne et triasique, des courants rapides sont venus étaler sur le fond de grandes couches de galets et de sables. Ils forment les grès actuels.

Puis, ces courants diminuant d'intensité, les calcaires marneux très fossilifères (muschelkalk) ont pu se déposer.

Enfin un régime lagunaire, bientôt suivi d'une phase d'assèchement est attesté par la présence sur ces calcaires des marnes bariolées gypsifères et salifères du Keuper.

Nous n'aurons à nous occuper que des grès, qui forment la plus grande partie de la région de Bains.

Ces grès se subdivisent en :

- 1° Grès rouge permien ;
- 2° Grès vosgien ;
- 3° Grès bigarré.

Grès rouge permien

Recouvert sans discordance par le grès vosgien; il se confond souvent avec celui-ci.

Bien que la carte géologique détaillée au 1/80.000^e ne le mentionne pas dans la région de Bains, il existe pourtant en certains points, et en particulier au-dessous de La Manufacture (Vallée du Coney, à l'Ouest de Bains), sous forme d'anagénite, ou mélange de divers éléments, unis par un ciment argilo-siliceux verdâtre, et aussi avec l'apparence d'eurite compacte résultant d'une modification du grès rouge.

Grès vosgien

C'est un grès rouge foncé ou rose, à grains siliceux, cimentés par du sesquioxyde de fer et par de petits cristaux de quartz qui scintillent au soleil. La stratification est tantôt régulière, tantôt entrecroisée, indiquant des courants rapides. Les fossiles font défaut. Les galets isolés sont assez fréquents; on en rencontre souvent qui sont constitués par de l'argile rouge. A la base et au sommet se trouvent des conglomérats assez puissants, formant des roches pittoresques.

Signalons par exemple les Roches du Moulin-au-Bois, dans le Bois des Fouilliés.

Les galets de conglomérats de grès vosgien sont intéressants à étudier. Ils renferment des fossiles du Silurien (*Monograptus* et *Diplograptus*). HOGARD signale avoir trouvé à Bains, dans les poudingues, des galets de quartzite dans lesquels il a remarqué des

empreintes de calamites (9). Ainsi cette formation doit résulter de la destruction d'un massif ancien peu éloigné des Vosges actuelles.

Grès Bigarré:

Cette roche est de beaucoup la formation la plus étendue de la région de Bains, et caractérise la Vôge.

C'est le grès bigarré qui recouvre tous les sommets de la région: à l'ouest, les Monts de Gruéy (500 m.), à l'Est le Haut-Domprey (589 m.), le Noirmont (575 mètres) et les hauteurs boisées du Clerjus; au sud, le Bois du Lyaumont, au Nord, la côte de la Chapelle, longée par la ligne du chemin de fer entre le Charmois et la Station de Bains.

Sa partie inférieure est un grès argileux, rouge cerise ou lie-de-vin micacé, souvent dolomitique, dépourvu de fossiles. Il existe de ces grès argileux du Million. Au-dessus se voient des grès blancs et roses avec traces de fossiles et d'empreintes végétales (*Anomopteris Mougeotti*, *Equisetum*).

La partie supérieure forme les grès à Voltzia (*Voltzia heterophylla*) avec des couches fissibles micacées (*psammites*) exploitées pour dalles, appelées *laves* et servant autrefois à la couverture des maisons. Une carrière de cette sorte de grès existe aux environs de Bains, au lieu dit « Terre les Fers ».

A la base, de gros blancs fournissent, avec des meules, d'excellentes pierres de construction, pierres de taille et moellons.

Ce grès ne miroite pas au soleil comme le grès vosgien; il est formé de grains siliceux fins et serrés. On

y remarque des paillettes de mica, des veines ferrugineuses et des noyaux d'argiles rouge et verdâtre caractéristiques. Le grès quartzeux, qui fournit des pierres de pavage si estimées, existe également aux environs de Bains et de Plombières.

Le torrent Bagnerot traverse la ville de Bains entre les collines de grès bigarré. Son lit est formé de poulingues, de blocs de grès et de roches granitiques. Il longe la faille hydro-thermale qui place en surface deux roches d'âges géologiques différents : la granulite et le grès vosgien.

Les sources thermales de Bains émergent à quelques vingt mètres du Bagnerot. Elles utilisent les fractures de la faille et les diaclases des roches granitiques pour sourdre à la surface du sol.

Primitivement, ces eaux coulaient en pure perte et formaient des mares d'eau tiède qui regagnaient le torrent pour s'y confondre. Actuellement ces sources sont soigneusement captées. Leur étude présente un intérêt évident, non seulement dans un but thérapeutique, mais aussi pour augmenter nos connaissances d'hydrogéologie et de géochimie.

Comme dit très justement M. Adolphe LEPAPE : « les venues d'eaux minérales et les bulles gazeuses qui les accompagnent sont des messagères, chargées de nouvelles, des régions souterraines inaccessibles et des lointains passés géologiques. En les interrogeant, par l'étude approfondie de leur composition et de leur constitution, de leur structure fine pour ainsi dire, et par la confrontation des multiples données ainsi recueillies, leurs réponses peuvent contribuer à la solution des problèmes les plus divers » (34).

CHAPITRE III

LES SOURCES

Les Sources actuellement exploitées par la Société Thermale sont au nombre de douze. Elles sont captées dans deux Etablissements de Bains : le Bain Romain et le Bain de la Promenade. En dehors de ces eaux chaudes, dont le débit est considérable, puisque la Source Saint-Colomban au Bain Romain rejette à elle seule plus de 100 litres-minute et la Source de la Promenade du Bain de la Promenade 104 litres-minute, la Société Thermale est propriétaire de plusieurs sources thermales non utilisées, et de trois sources froides situées dans le Parc.

En 1864, un décret de Napoléon III, déclara d'intérêt public les sources actuellement utilisées pour l'usage médical, et consacra ainsi définitivement la réputation de ces eaux thermales.

Nous avons reproduit sur les planches ci-contre la position des captages des sources d'après les documents que nous a communiqué la Société Thermale.

Le jaillissement des eaux thermales est très net. Il peut être observé aux captages dans les deux établissements thermaux. Aucun pompage, aucun siphonage, aucun drainage n'est nécessaire. L'eau émerge d'elle-

même, dans les enchambres constitués le plus souvent par de simples parois en maçonnerie.

Il n'existe donc pas de nappes phréatiques plus ou moins superficielles, mais des jaillissements d'eaux et de gaz thermaux venant des profondeurs.

LES SOURCES DU BAIN ROMAIN

Suivant l'usage romain, le captage est fait sur place. Les sources coulent directement dans les piscines du rez-de-chaussée et sont canalisées dans les différents services sans que leur température, leurs gaz, leurs qualités physiques et thérapeutiques aient subi la moindre altération.

Plusieurs de ces sources furent captées par les Romains. De nos jours les travaux d'aménagement n'ont pas modifié sensiblement l'émergence des sources, dont la plupart sont encore utilisées à leur griffon véritable, anciens captages romains.

La Source Souterraine dont l'enchambrement en béton est placé sous le mur latéral gauche du Bain Romain a parfaitement résisté à l'épreuve du temps.

La Source Romaine située au nord-est du bâtiment coule dans une piscine particulière encore utilisée par les baigneurs. Elle est mise à la disposition des habitants en dehors de la saison thermale. Pendant les travaux de 1752, les ouvriers, rapporte THIRRIAT (8), ont mis à jour le vrai captage romain, constitué par une grande dalle de grès épaisse.

La Source Saint-Colomban, située au nord du bâtiment, a deux émergences, dont l'une est reliée aux

LETTRES	DÉSIGNATION DES SOURCES
A et A ₁	Source Saint-Colomban (2 émergences).
B	» Romaine.
C et C ₁	» Souterraine (2 émergences).
D	» Robinet de Cuivre.
E	» Robinet de fer.
F	» Grosse Source.
H	» Tempérée.
K	» de la Vache.
L	» Casquin.
M et M ₁	» Féconde (2 émergences).
N	» de la Promenade.

LETTRES	DÉSIGNATION DES SOURCES
A et A ₁	Source Saint-Colomban (2 émergences).
B	» Romaine.
C et C ₁	» Souterraine (2 émergences).
D	» Robinet de Cuivre.
E	» Robinet de fer

services d'embouteillage et l'autre alimente différents services.

La Grosse Source, la Source Robinet-de-Fer et la Source Robinet-de-Cuivre, très utilisées pour leurs vertus curatives et leur température élevée, sourdent également de leurs anciens captages.

La Source de la Vache, d'un débit plus modeste, et la Source Tempérée se déversent dans un réservoir général et alimentent des cabines de bains et douches.

LES SOURCES DU BAIN DE LA PROMENADE

Au Bain de la Promenade trois sources furent captées au lieu même de leur émergence. Ce sont les deux Sources Fécondes, situées à quelques mètres l'une de l'autre.

Du fond de la piscine, qu'elles alimentent, on voit sortir de leur griffon d'énormes bulles de gaz spontanés qui éclatent en surface de l'eau.

La Source Casquin, appelée autrefois Source Savonneuse, fut très employée à l'époque de la Révolution. Son griffon est situé au fond d'un puits profond de 1 m. 50 en pleine roche granitique. De même que la Source Saint-Colomban, elle est utilisée en boisson.

La Source de la Promenade, dont le griffon véritable est placé sous la route nationale 64 à quelques mètres de l'établissement de bain, alimente également différents services de douches et la piscine centrale.

LES SOURCES DU PARC

D'autres sources tièdes ou froides n'ont pas reçu d'utilisation thérapeutique. Elles s'échelonnent le long du parc de l'Etablissement thermal. Ce sont la Source froide du Parc, la Source de la Potinière, et la Source du Moulin. Nous les mentionnons parce qu'elles sont en relation avec la faille granulitique qu'elles traversent, en partie tout au moins. La Source de la Potinière, source tiède, reçoit des apports d'eau thermale. La Source froide du Moulin ainsi que la Source froide du Parc sont deux sources artésiennes qui traversent les roches granulitiques et un manteau de grès vosgien où se trouve leur émergence.

Nous allons dans ce travail examiner toutes les sources thermales, leur composition chimique, leurs caractères physiques et rechercher leur radioactivité.

Nous ajouterons à cette étude quelques observations sur les eaux chaudes ou froides de la région, afin de mieux opposer ce qui fait l'originalité et les caractères distinctifs de ces eaux minérales.

DEUXIÈME PARTIE

Recherches Chimiques

CHAPITRE PREMIER

LES EAUX THERMALES

Quelques travaux ont déjà été publiés sur la composition chimique des eaux thermales de Bains. Les éléments dominants de leur minéralisation ont été trouvés dès le XVIII^e siècle, par NICOLAS (5).

Cet auteur, dont les analyses ont surtout une valeur historique, indique le sulfate de soude et la silice parmi les sels qui forment la majeure partie de la minéralisation de ces eaux.

En 1808, le chimiste VAUQUELIN a analysé l'eau du Robinet-de-Fer. Il lui attribue une minéralisation de 0 gr. 46 de sels par litre, avec prédominance de sulfate de soude et un peu de sulfate de calcium.

En 1840, POUMARÈDE, chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine, a analysé plusieurs sources. Nous reproduisons ci-dessous les résultats qu'il a obtenus :

	Grosse source (en gr.)	Prome- nade (en gr.)	Savon- neuse (en gr.)	Vache (en gr.)
Carbonate de calcium ..	0,028	0,018	0,045	0,028
Carbonate de sodium ...	0,010	»	»	»
Oxyde ferrique	0,002	0,002	0,002	0,002
Sulfate de sodium	0,110	0,075	0,160	0,102
Chlorure de sodium ...	0,083	0,058	0,163	0,136
Silice	0,069	0,047	0,121	0,093
Matière organique	petite quantité			
	0,302	0,200	0,491	0,361

La Source Casquin fut appelée autrefois: Source Savonneuse.

Une autre analyse, faite en 1925 par M. VÉCHOT, ingénieur chimiste, concerne l'eau de la Source Saint-Colomban (1):

Extrait sec	0,452 grammes par litre
Acide carbonique total	0,084 en CO ²
SO ⁴	0,132
Chlore	0,019
SiO ²	0,074
Calcium	traces faibles
Fer	traces non dosables
Alcalins en Na ² O	0,2273

Brome et arsenic ne figurent pas dans l'échantillon étudié.

D'après les résultats de cette analyse, nous retrouvons dans l'eau de la Source Saint-Colomban les mêmes éléments minéralisateurs que dans les autres sources thermales analysées par POUMARÈDE.

Cependant, ces résultats sont encore bien incomplets; ils ne permettent pas une vue d'ensemble sur les sources de la station. Plusieurs de ces sources n'ont pas encore été analysées. Nous avons pensé qu'il était intéressant, et utile, de compléter par de nouvelles recherches, faites à l'aide de méthodes sensibles, l'étude chimique des eaux thermales de Bains.

Dans ce but, pour rendre nos résultats comparables, nous avons prélevé le même jour, aux différentes sources, les échantillons sur lesquels nous devons travailler.

DEGRÉ ALCALIMÉTRIQUE

Le degré alcalimétrique d'une eau constitue une constante chimique importante à connaître et facile à déterminer. Toute variation de sa valeur indique une intrusion d'eau étrangère.

Voici comment nous avons procédé :

On prélève 100 cc. d'eau thermale, que l'on verse dans un vase de Becher. Trois gouttes d'hélianthine suffisent pour colorer en jaune paille la prise d'essai. A l'aide d'une burette à robinet, graduée en $1/20^{\circ}$ de centimètre cube, nous laissons tomber goutte à goutte la solution titrée d'acide sulfurique N/10 jusqu'à teinte rose persistante.

Nous donnons ci-dessous le tableau des résultats obtenus en indiquant le nombre de centimètres cubes de liqueur acide employé pour obtenir le virage de l'indicateur : l'hélianthine.

Eau de la source Saint-Colomban	1 cc. 95
Eau de la source Romaine	1 cc. 90
Eau de la source Souterraine	1 cc. 85
Eau de la Grosse Source	1 cc. 90
Eau de la source Tempérée	1 cc. 85
Eau de la source de la Vache	1 cc. 90
Eau de la source Robinet de Fer	1 cc. 90
Eau de la source Robinet de Cuivre	1 cc. 90
Eau de la source Casquin	1 cc. 90
Eau de la source Féconde n° 1	1 cc. 90
Eau de la source Féconde n° 2	1 cc. 90
Eau de la source de la Promenade	1 cc. 70

Nos essais ont porté sur des eaux prélevées au même moment, et mises en bouteilles. Cette alcalinité ne nous a jamais donné de variations. Les résultats sont toujours comparables, la source de la Promenade étant moins alcaline, et les autres sources sensiblement les mêmes.

EXTRAIT SEC DES EAUX THERMALES DE BAINS

Nous avons opéré la concentration de l'eau dans une capsule de porcelaine desséchée et tarée. L'évaporation a été faite au bain-marie, et terminée dans une capsule de platine. Une fois l'extrait obtenu, nous

avons mis cette capsule à l'étuve à 150° jusqu'à dessiccation totale du résidu.

Le résidu une fois sec, nous avons placé la capsule sous une cloche à dessiccation en présence d'anhydride phosphorique. Cette capsule est toujours restée au moins deux heures sous le dessiccateur.

Enfin, nous avons pesé le résidu avec une balance sensible au 1/5° de milligramme. Le résidu des eaux de Bains étant légèrement hygroscopique, afin d'obtenir des résultats comparables nous avons toujours pris le poids indiqué par la balance une minute et demie après que la capsule était sortie du dessiccateur.

Tous nos extraits secs ont été obtenus par évaporation d'un litre d'eau thermale.

Voici les résultats que nous avons obtenus :

Extrait sec
par litre d'eau

Sources thermales :

Source Saint-Colomban	0 gr. 4505
Source Romaine	0 gr. 4480
Source Robinet de Fer	0 gr. 4315
Source Robinet de Cuivre	0 gr. 4365
Source de la Vache	0 gr. 4400
Source Casquin	0 gr. 4365
Source Féconde n° 1	0 gr. 4360
Source Féconde n° 2	0 gr. 4365
Grosse Source	0 gr. 4005
Source de la Promenade	0 gr. 3750
Source Souterraine	0 gr. 3825
Source Tempérée	0 gr. 3880

Source froide :

Source du Parc	0 gr. 0530
----------------------	------------

La Source froide du Parc, qui sort de la granulite, présente une minéralisation très faible.

DEGRÉ HYDROTIMÉTRIQUE TOTAL

Le degré hydrotimétrique donne une simple indication sur la présence dans une eau de métaux alcalino-terreux.

Nous avons cherché le degré hydrotimétrique total des différentes sources (12).

Voici les résultats de cette recherche :

	Degré hydrotimétrique
<i>Sources thermales de Bains :</i>	
Source Saint-Colomban	12° 5
Source Robinet de Cuivre	12° 5
Source Robinet de Fer	12° 5
Sources Fécondes n ^{os} 1 et 2	12° 5
Source Casquin	12° 5
Source de la Promenade	11° 5
Source de la Vache	12° 5
Source Romaine	12° 5
Source Souterraine	12°
Source Tempérée	12°
Grosse Source	12°
 <i>Sources froides :</i>	
Sources froides du Parc	5°
Sources des grès	4°
 <i>Source-Fontaine chaude des Bois de Gruy :</i>	
Source Fontaine chaude de Gruy	14°

Cette recherche est intéressante, parce qu'elle montre une grosse différence entre le degré hydrotimétrique des eaux thermales et des sources froides de la région.

DOSAGE DES MATIÈRES ORGANIQUES

Dans l'analyse des eaux minérales la recherche des matières organiques ne se propose pas le même but que dans l'étude des eaux d'alimentation.

On constate, en effet, que beaucoup d'eaux minérales contiennent des matières organiques en quantité importante, hors de proportion avec celles admises par les hygiénistes.

Les eaux minérales sont le plus souvent des eaux des profondeurs, dont la minéralisation est en rapport avec des terrains souvent très éloignés du point d'émergence.

Aussi, dans leur passage à travers le sol, les eaux profondes peuvent se charger en matières organiques au contact des schistes houillers, de marnes bitumeuses, ou en traversant des terrains sédimentaires.

C'est ainsi que l'eau oligo-métallique de Divonne, dont la minéralisation totale est de 0 gr. 287 par litre, contient 0 gr. 0204 de matières organiques.

Les eaux de Vichy analysées par WILLM en 1894 ont des teneurs variant entre 0 gr. 001 et 0 gr. 006 de matières organiques par litre.

Dans les Pyrénées, les eaux sulfurées de Barège et les eaux sulfatées calciques de Dax en contiennent également beaucoup.

A Bains, nous avons étudié toutes les sources thermales à ce point de vue. Déjà en 1840, les analyses de

POUMARÈDE signalaient une petite quantité de matières organiques dans l'eau de plusieurs sources, notamment la Grosse Source, la Source de la Promenade, mais sans préciser davantage.

Nous nous sommes servi pour exécuter le titrage des matières organiques de la méthode de POUCHET (12).

Nous avons fait ce dosage en milieu acide et alcalin en prélevant 200 cc. d'eau thermale et en titrant par retour avec une solution de MnO^4K et une solution de sel de Mohr.

Nous faisons, en même temps, un essai comparatif avec de l'eau distillée. La solution titrée se composait de :

125 cm³ de MnO^4K n/1 amenés à 1.000 cm³, dont 1 cm³ correspond à 0 mg. 1 d'oxygène.

La burette utilisée était graduée en 1/20 de centimètre cube.

Voici le tableau des résultats obtenus :

	Matières organiques en oxygène par litre
Source Saint-Colomban	0 mg. 15
Source Romaine	0 mg. 15
Source de la Vache	0 mg. 15
Source Robinet de Fer	0 mg. 10
Source Robinet de Cuivre	0 mg. 20
Source Souterraine	0 mg. 10
Source Tempérée	0 mg. 15
Grosse Source	0 mg. 15
Source Féconde, N ^{os} 1 et 2	0 mg. 20
Source Casquin	0 mg. 20
Source de la Promenade	0 mg. 15

Ces résultats montrent que les eaux thermales de Bains contiennent très peu de matières organiques.

Il n'y a pas de différence entre les dosages des matières organiques en milieu acide et en milieu alcalin.

RECHERCHE ET DOSAGE DES SULFATES

Nous avons recherché et dosé les sulfates par précipitation à l'état de sel de baryum.

Nous avons opéré sur les eaux des sources débarrassées de la silice. Tous nos dosages ont été faits en utilisant 500 cc. d'eau de chaque source, acidifiée par 10 cc. d'acide chlorhydrique pur et 20 cc. d'une solution de chlorure de baryum à 10 %.

La précipitation est immédiate. On chauffe quelques minutes pour agglomérer le précipité. On laisse reposer et on recueille le précipité sur un filtre sans cendre. On le lave à l'eau distillée chaude, on le calcine dans une capsule de platine. Le résidu est pesé. Son poids multiplié par 0 gr. 412, donne le chiffre de sulfates en ion SO^4 , contenu dans la prise d'essai.

Voici le tableau des résultats que nous avons obtenus en opérant avec chaque source thermale :

Source Saint-Colomban	0 gr. 121
Source de la Vache	0 gr. 110
Source Romaine	0 gr. 092
Source Robinet de Cuivre	0 gr. 094
Source Robinet de Fer	0 gr. 090
Grosse Source	0 gr. 089

Source Tempérée	0 gr. 086
Source Souterraine	0 gr. 086
Source Casquin	0 gr. 107
Source Féconde N° 1	0 gr. 106
Source Féconde N° 2	0 gr. 106
Source de la Promenade	0 gr. 082

Si nous exprimons ces résultats en $\text{SO}^4 \text{Na}^2 + 2 \text{H}^2\text{O}$, sulfate desséché, on obtient 0 gr. 20 de minéralisation en sulfate de sodium pour la Source Saint-Colomban, soit 44 % de l'extrait sec.

On voit par ces chiffres que les sulfates constituent une grosse partie de la minéralisation totale des eaux thermales de Bains.

RECHERCHE ET DOSAGE DES CHLORURES

Le chlore est au point de vue géochimique un élément très commun. Certains terrains en sont très riches, tels les dépôts d'anciennes mers, les terrains sédimentaires. Au contraire, les roches magmatiques en renferment très peu.

La teneur en chlore des eaux minérales dépend beaucoup des terrains traversés par les eaux. Cette teneur peut atteindre des chiffres exceptionnellement élevés (eaux de Salies de Béarn).

Nous avons recherché le chlore dans les eaux thermales de Bains par la méthode de Charpentier-Vohlard, appliquée à l'hydrologie, c'est-à-dire en utilisant des solutions titrées de nitrate d'argent et de sulfo-cyanate N/100, en opérant sur 200 cc. d'eau thermale.

Voici le tableau des résultats que nous avons obtenus :

Sources	Teneur en ion chlore par litre d'eau
Source Saint-Colomban	0 gr. 021
Source Robinet de Fer	0 gr. 021
Source Robinet de Cuivre	0 gr. 0208
Source Souterraine	0 gr. 0196
Grosse Source	0 gr. 0200
Source Tempérée	0 gr. 0202
Source Romaine	0 gr. 0208
Sources Fécondes N ^{os} 1 et 2	0 gr. 0207
Source Casquin	0 gr. 0208
Source de la Promenade	0 gr. 0190

Ces chiffres montrent que la quantité de chlore contenue dans les eaux des différentes sources thermales de Bains est faible et voisine pour toutes les sources de 0 gr. 020 par litre.

Ces résultats ne doivent pas nous surprendre, le sous-sol de Bains étant composé de roches granitoïdes. Au contraire, dans les eaux thermales de Luxeuil et de Bourbonne, qui parcourent en sous-sol des terrains sédimentaires, le chlore constitue un élément important de la minéralisation.

RECHERCHE ET DOSAGE DU CALCIUM

Les analyses de POUMARÈDE et de M. VÉCHOT signalent la présence de calcium en petite quantité dans les eaux de quelques sources de cette station. Pour compléter cette étude nous avons recherché et dosé le calcium dans les eaux de toutes les sources thermales de Bains en utilisant la méthode volumétrique de GOSSELIN.

Nous avons également fait un dosage pondéral du calcium sur l'eau de quatre des principales sources de la station, en concentrant 10 litres d'eau de chacune des sources suivantes: au Bain Romain, Source Saint-Colomban, et Source du Robinet-de-Cuivre, au Bain de la Promenade, Source Casquin et Source de la promenade.

I. — MÉTHODE VOLUMÉTRIQUE DE GOSSELIN

La méthode volumétrique de GOSSELIN de dosage du calcium est rapide. Elle permet d'exécuter des dosages de calcium sur des quantités d'eau minimales (50 ou 100 cc. d'eau). On utilise une solution précipitante d'acide oxalique de titre connu 0 gr. 630 par litre. On titre l'excès d'acide oxalique restant, après séparation de l'oxalate de calcium précipité, par la méthode manganométrique.

On trouvera le détail de ce dosage dans le *Journal de Pharmacie et de Chimie* (20), 1 cc. de solution d'acide oxalique correspond à 0 gr. 0002 de calcium, ce qui permet une bonne sensibilité au dosage.

Les chiffres que nous avons obtenus sont identiques pour toutes les sources.

II. — DOSAGE PAR PRÉCIPITATION

Nous avons opéré sur dix litres d'eau thermale après avoir séparé la silice, le fer, l'alumine, en précipitant à chaud le calcium par l'oxalate d'ammoniaque. Après repos de 12 heures, on recueille le précipité sur filtre sans cendres et on le calcine dans une capsule de platine tarée, après avoir transformé par l'acide sulfurique le calcium à l'état de sulfate de calcium. Nous avons exécuté ce mode de dosage pour quatre sources thermales :

1° Source Saint-Colomban	0 gr. 026
2° Source Robinet de Cuivre	0 gr. 024
3° Source Casquin	0 gr. 022
4° Source de la Promenade	0 gr. 020

On voit par ces résultats qu'entre la source thermale la plus minéralisée, Saint-Colomban, et la moins riche en extrait sec, Source de la Promenade, il y a une différence de 6×10^{-3} grammes de calcium.

Les eaux thermales de Bains ne contiennent donc que deux centigrammes de calcium par litre. Elles sont certainement parmi les eaux oligo-métalliques les moins riches en calcium de France.

RECHERCHE ET DOSAGE DU MAGNÉSIUM

La présence de magnésium n'avait pas été signalée dans les eaux thermales de Bains. En opérant sur 10 litres d'eau des principales sources, après avoir précipité le calcium comme nous l'avons indiqué ci-dessus, nous avons pu le caractériser et le doser.

La précipitation a été faite à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien dont les cristaux sont caractéristiques au microscope. Après calcination de ce précipité, recueilli sur un filtre sans cendres, nous avons pesé le pyrophosphate de magnésie $P^2 O^7 Mg^2$ (14).

1 gramme de pyrophosphate de magnésie correspond à 0,3603 de magnésie (Mg o).

Source Saint-Colomban	0,0020
Source Robinet de Cuivre	0,0019
Source Casquin	0,0019
Source de la Promenade	0,0019

On voit que la teneur des eaux thermales de Bains en magnésie est approximativement le dixième de la quantité de calcium qu'elles contiennent.

AZOTE AMMONIACAL

Nous avons recherché l'ammoniaque directement sur les eaux de Bains en nous servant du réactif de NESSLER et d'un tube à essai en pyrex de 25 centimètres de long.

La sensibilité de notre réactif de NESSLER nous permettait de déceler la présence de 5×10^{-5} gr. d'ammoniaque par litre d'eau. Pour cela, nous avons utilisé une solution de $NH^4 Cl$ à 0 gr. 315 de sel par litre, dont 1 cc. correspondait à 1×10^{-4} gr. d'ammoniaque.

Aucune des sources examinées n'a donné de trouble, ni de coloration. Un essai comparatif avec l'eau oligo-métallique de Plombière (Source Alliot), nous a donné le même résultat.

RECHERCHE DES NITRITES

L'eau thermale de Bains n'étant pas une eau sulfurée, nous avons exécuté cette recherche directement en opérant avec le réactif de GRIESS sur 50 cc. d'eau de chaque source.

On utilise une solution d'acide sulfanilique en suivant le mode opératoire indiqué aux travaux pratiques d'Hydrologie (12). Cette recherche a été négative.

RECHERCHE DES NITRATES

Pour rechercher les nitrates, nous avons utilisé le procédé de GRANDVAL et LAJOUX (14). Le dosage colorimétrique a été fait avec des tubes étalons préparés en traitant une solution de 1 gr. 872 de nitrate de potassium desséché par le réactif sulfo-phénique.

Toutes les eaux thermales de Bains contiennent des nitrates en petite quantité.

Il est difficile d'obtenir une grande précision dans l'observation de la teinte jaune picrique, les écarts de teinte étant trop imprécis. Aussi, donnons-nous un chiffre unique qui exprime la teneur moyenne de ces eaux en nitrate: $3,0 \times 10^{-4}$ gr. par litre.

Les eaux froides de la faille granulitique contiennent aussi des traces de nitrate. Les quantités dosées en concentrant cinq litres d'eau sont de l'ordre de $2,0 \times 10^{-5}$ gr. par litre.

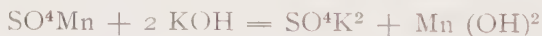
DOSAGE DE L'OXYGÈNE DISSOUS

La présence d'oxygène en dissolution dans les eaux thermales de Bains n'a été mentionnée dans aucune analyse. Aussi avons-nous pensé qu'il était intéressant de faire cette étude sur les eaux prises au griffon même, ainsi que sur des eaux conservées en bouteilles. Nous nous sommes servis de la méthode de WINCKLER modifiée par NICLOUX (18). Cette méthode vérifie les résultats obtenus dans l'analyse des gaz par le procédé Armand GAUTHIER.

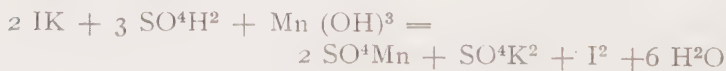
MÉTHODE DE WINCKLER-NICLOUX

On utilise un petit tube de verre bifide appelé tube de Nicloux. Sa forme permet d'introduire dans chaque branche un réactif qui ne se mélange avec l'autre que lors de l'introduction de l'eau. On emploie comme réactif fixateur de l'oxygène en dissolution dans l'eau, le sulfate de manganèse en solution à 30 % et de la soude contenant de l'iodure de potassium. En milieux alcalins, le précipité blanc d'hydrate manganeux $Mn(OH)^2$, très peu stable, se transforme en hydrate manganique $Mn(OH)^3$ couleur de rouille, en absorbant l'oxygène contenu dans l'eau analysée.

Voici les réactions chimiques produites :



Puis, lorsque la réaction est terminée, on passe en milieu acide



l'acide utilisé, dans la pratique, est l'acide phosphorique. L'oxydation produite par la décomposition de l'hydrate manganique libère l'iode proportionnellement à la teneur en oxygène. 1 cc. d'une solution d'iode ou d'hyposulfite N/100 correspond à 0 gr. 00008 d'oxygène.

Voici un tableau qui résume les résultats obtenus en opérant les dosages d'oxygène au griffon même des différentes sources :

Sources	Oxygène en milligrammes	Oxygène en centimètre cube par litre
Source Saint-Colomban	2 mg. 1	1 cc. 4
Source Romaine	2 mg.	1 cc. 4
Source Souterraine	2 mg. 3	1 cc. 6
Source Tempérée	2 mg.	1 cc. 4
Grosse Source	2 mg.	1 cc. 4
Source Robinet de Fer	1 mg. 8	1 cc. 2
Source Robinet de Cuivre ..	2 mg. 1	1 cc. 4
Source Féconde N° 1	2 mg.	1 cc. 4
Source Féconde N° 2	2 mg.	1 cc. 4
Source de la Promenade	3 mg.	2 cc. 1
Source du Parc	7 mg.	4 cc. 5

La Source Casquin et la Source de la Vache, dont les griffons ne sont pas directement accessibles ne permettent pas de faire un dosage correct de l'oxygène.

Il faut, en effet, empêcher que l'eau analysée ne soit en contact avec l'air.

En plus de cette recherche d'oxygène dissous dans les eaux prélevées au griffon même, nous avons fait des dosages de l'oxygène dissous dans les eaux conservées en bouteille.

Voici quelques résultats obtenus :

Sources examinées	Oxygène dosé en milligrammes par litre
—	—
Eau de Saint-Colomban	2 mg. 8
Eau du Robinet de Fer	2 mg. 2
Eau de la Source Casquin	3 mg.
Eau de la Source de la Promenade	3 mg. 4

La teneur en oxygène est plus élevée en raison des manipulations de l'embouteillage. La mise en bouteille des eaux thermales est effectuée avec l'eau venant directement de la source par une tuyauterie spéciale et déversée dans les bouteilles à une température très voisine de celle de l'émergence. Le capsulage est fait aussitôt ; par refroidissement il se produit un vide partiel qui augmente encore l'adhérence de la capsule contre les parois du verre. Il s'établit ainsi une protection efficace contre l'intrusion des gaz atmosphériques.

GAZ CARBONIQUE

Toutes les analyses chimiques des eaux minérales de Bains mentionnent la présence de gaz carbonique en dissolution.

Ce gaz ne se dégage pas d'une façon apparente, à l'état de bulles gazeuses; ces eaux ne sont pas pétillantes. Cependant, au cours de nos recherches, nous avons constaté que le gaz carbonique s'échappe lentement du liquide au contact de l'air. De même si nous chauffons une eau minérale de Bains dans un ballon, surmonté d'un réfrigérant à reflux pour empêcher l'eau de se concentrer, nous constatons que l'eau devient alcaline à la phénolphtaléine, par perte de gaz carbonique. Malgré cette perte de gaz carbonique l'eau ne se trouble pas; exception faite pour l'eau de la source de Saint-Colomban qui précipite des carbonates alcalino-terreux et un peu de fer.

Pour évaluer ce dégagement de gaz, nous avons extrait le gaz carbonique libre et semi-combiné de plusieurs sources thermales en même temps que les autres gaz dissous par la méthode d'Armand GAUTHIER (14).

Voici les résultats que nous avons obtenus en opérant sur l'eau de différentes sources des deux établissements thermaux :

	Volume d'eau	Oxy- gène	CO ² libre	Gaz résiduel
	—	—	—	—
	c.c.	c.c.	c.c.	c.c.
Source Saint-Colomban	400	0,6	5,5	6,6
Source Romaine	400	0,6	5,5	6,8
Source Féconde	400	0,6	4,4	6,6
Source de la Promenade ..	400	0,8	4,0	7

L'acide carbonique total a été dosé, sur l'eau recueillie au griffon même des sources, par précipitation des

carbonates à l'état de sels de baryum en utilisant une solution de chlorure de baryum et d'ammoniaque. On sépare les carbonates des sulfates en traitant le précipité par l'acide chlorhydrique. Le baryum dissous à l'état de chlorure est alors précipité à nouveau à l'état de sulfate qui est lavé et pesé.

Voici les résultats obtenus en opérant sur l'eau de chacune des sources.

	Résultats en grammes par litre :	
	CO ² total	CO ² libre
Source Saint-Colomban	0,074	0,026
Source Romaine	0,074	0,026
Source Robinet de Fer	0,070	0,025
Source Robinet de Cuivre	0,070	0,025
Source de la Vache	0,070	0,025
Source Tempérée	0,060	0,020
Source Souterraine	0,060	0,020
Source Casquin	0,065	0,021
Sources Fécondes N ^{os} 1 et 2	0,068	0,021
Source de la Promenade	0,052	0,019

On voit que dans l'ensemble, les sources thermales de Bains contiennent peu de gaz carbonique. M. VÉCHOT, dans une analyse de l'eau de Saint-Colomban, indique 0,084 de gaz carbonique total et 0,045 de gaz carbonique combiné. Nous avons obtenu respectivement 0,074 et 0,045. Nos résultats sont donc très voisins.

Quelle peut être l'origine du gaz carbonique dans les eaux de Bains ?

Tout d'abord le quartz des roches granitiques en contient. Ce gaz est inclus dans les cristaux en petites bulles microscopiques pour ainsi dire à l'état fossile. Par lixiviation et destruction des composés siliciques l'eau peut dissoudre ce gaz (11).

LASPEYRES estime que certaines roches granitiques en contiennent des quantités considérables. L'action métamorphisante des granites sur les dépôts calcaires primaires a pu donner naissance à des roches granitiques basiques qui renferment ainsi du gaz carbonique en combinaison.

Quelle que soit son origine de formation, le gaz carbonique et probablement les carbonates des eaux thermales de Bains proviennent en grande partie des terrains que ces eaux traversent en profondeur avant de passer dans les terrains granitiques acides plus près de la surface du sol.

SILICE

La silice a été mentionnée dans les anciennes analyses comme un des éléments dominants de la minéralisation des eaux thermales de Bains.

Nous connaissons, en effet, à Bains sous le manteau des grès triasiques l'affleurement de granulites roches très siliceuses et l'existence de roches granitiques basiques : amphiboles, roches euritiques. Il est vraisemblable que ces roches cèdent à l'action lixivante des eaux, une partie des éléments chimiques qui les composent (mica, feldspaths décomposés).

La recherche et le dosage de la silice présentent donc un intérêt particulier dans l'étude des eaux thermales de Bains.

Nous avons isolé la silice par insolubilisation en milieu acide chlorhydrique, en opérant sur le résidu de 500 cc. d'eau de chaque source thermale. L'évaporation de l'eau a été faite au bain-marie dans une petite capsule de platine. Le résidu de cette évaporation repris par un centimètre cube d'acide chlorhydrique, dilué avec un peu d'eau distillée a été à nouveau évaporé à siccité. Après trois insolubilisations semblables, pour éliminer tous les éléments solubles, il nous est resté une poudre blanche, granuleuse, constituée par la silice, que nous avons recueillie sur un filtre sans cendre. Nous avons calciné le résidu et le filtre dans la même capsule de platine préalablement tarée. Le poids de la silice a été obtenu par pesée en utilisant une balance sensible au 1/5^e de milligramme.

Voici les résultats de nos dosages de silice :

Source de la Vache	0 gr. 086	par litre d'eau
Source Saint-Colomban	0 gr. 084	—
Source Casquin	0 gr. 083	—
Source Féconde N° 1	0 gr. 083	—
Source Féconde N° 2	0 gr. 083	—
Source Romaine	0 gr. 084	—
Source Robinet de Fer	0 gr. 082	—
Source Robinet de Cuivre	0 gr. 082	—
Grosse Source	0 gr. 074	—
Source Souterraine	0 gr. 074	—
Source Tempérée	0 gr. 072	—
Source de la Promenade	0 gr. 060	—

Comme le montre ce tableau, le poids de silice varie peu d'une eau thermale à l'autre. Mais ces résultats ne définissent pas sous quel état se trouve cette silice dans l'eau. Est-ce à l'état de silicate alcalin, ou de complexe siliceux colloïdal?

RÉACTION DE DIENERT

La réaction colorée de Diénert nous permet de reconnaître qu'une partie de cette silice est à l'état de silicate alcalin. On utilise pour faire cette recherche une solution de molybdate d'ammonium à 10 % dans l'eau distillée. A 50 cc. d'eau analysée on ajoute deux centimètres cubes de solution molybdique et 4 à 6 gouttes d'acide sulfurique concentré.

Il se développe, immédiatement, une coloration jaune très stable que l'on peut comparer à des solutions étalons de silicate de soude. Dans cette réaction il se forme de l'acide silico-molybdique fortement teinté en jaune.

Nous avons procédé à plusieurs essais avec des eaux minérales différentes oligo-métalliques provenant d'autres stations (Plombières, Evian). C'est l'eau de Bains qui nous a donné l'intensité de coloration la plus forte. Elle correspond à une teneur de 0 gr. 025 de silicate de soude par litre d'eau.

Nous avons pu constater que les eaux qui traversent les grès vosgiens et les granulites présentent également la réaction de Diénert. Une partie de la silice des eaux de Bains se trouve donc dissoute à l'état de silicates.

RECHERCHE ET DOSAGE DU FER

Il existe aux environs de Bains de nombreux affleurements de roches ferrugineuses. On trouve des grès à ciment ferrugineux et des roches siliceuses qui contiennent de petits cristaux de fer oligiste.

Auprès de l'étang des Tremeurs, une source d'eau météorique rejette à son griffon une boue constituée par du sesquioxyde de fer et des algues ferrugineuses.

Les analyses des eaux thermales de Bains, antérieures aux nôtres, signalent la présence du fer en petite quantité. M. VÉCHOT en a trouvé des traces (1).

La recherche directe du fer dans les eaux thermales de Bains est toujours négative. Il faut, pour déceler ce métal, concentrer deux litres d'eau à environ 20 cc. et filtrer. On traite le résidu du filtre calciné par quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré. On sépare la silice et ajoute la liqueur au premier filtrat. On peroxyde le fer passé en solution, par quelques gouttes d'acide nitrique ou d'eau oxygénée. On ajoute à ce liquide, 2 cc. d'une solution de sulfocyanate de K. à 10 %. La teinte rouge obtenue est comparée à des solutions étalons de sel de Mohr traitées dans les mêmes conditions.

On peut également utiliser le comparateur de Helige qui évite la préparation d'une échelle colorimétrique. Des disques colorés permettent une appréciation correcte. Nous avons utilisé ce moyen pratique comme vérification de nos dosages.

Quelles que soient les sources thermales examinées,

nous y avons toujours décelé de très petites quantités de fer.

Voici les résultats obtenus pour l'ensemble des sources thermales, les sources froides du Parc et la source ferrugineuse de l'étang des Trémeurs.

	Grammes de fer par litre
Sources Thermales	$32,7 \times 10^{-6}$
Sources froides du Parc	$10,0 \times 10^{-6}$
Source ferrugineuse de l'Etang des Trémeurs.	6×10^{-3}

On constate que malgré la décantation naturelle que subit l'eau de la Source des Trémeurs, il reste encore 6 milligrammes de fer en solution par litre.

Il existe une opposition curieuse entre cette eau de surface et les eaux artésiennes froides ou chaudes, de la région de Bains.

RECHERCHE ET DOSAGE DE L'ALUMINE

La présence d'alumine n'avait pas été mentionnée dans les eaux de Bains. Nous l'avons recherchée dans les produits de concentration de 10 litres d'eau, après séparation de la silice par insolubilisation chlorhydrique.

Nous avons obtenu en milieu ammoniacal, un précipité net que nous avons lavé avec de l'eau ammoniacale, recueilli sur un filtre sans cendre, calciné et pesé.

Voici les résultats obtenus ;

	Alumine par litre d'eau
Source Saint-Colomban	0 gr. 0046
Source Robinet de Cuivre	0 gr. 0040
Source Casquin	0 gr. 0042
Source de la Promenade	0 gr. 0040

Nous n'avons pas trouvé d'alumine dans les sources froides du Parc.

RECHERCHE DU MANGANÈSE

Ce métal a été trouvé et dosé dans de nombreuses eaux minérales. Il s'y trouve généralement à l'état de traces sauf dans les eaux ferrugineuses.

MM. JADIN et ASTRUC l'ont dosé dans l'eau de plusieurs sources minérales vosgiennes (35):

	Grammes par litre d'eau
Bussang (Salmade)	2×10^{-3}
Luxeuil (Puits Romain)	1×10^{-3}
Vittel (Grande Source)	11×10^{-6}
Plombières (Source Alliot)	4×10^{-6}

Les eaux minérales examinées qui contiennent du manganèse contiennent également du fer. Les eaux sulfatées sodiques et les eaux sulfureuses sont de toutes les eaux minérales examinées par ces auteurs les plus pauvres en manganèse.

A Bains où nous avons des quantités de fer très petites de l'ordre de $n \times 10^{-6}$, nous n'avons pas décelé, chimiquement le manganèse. La recherche faite par le procédé de Denigès sur l'eau de toutes les sources est cependant d'une application facile, car il ne nécessite pas l'élimination des chlorures. C'est cette méthode que nous employons dans notre laboratoire pour les analyses d'eau qui nous sont confiées.

MÉTAUX ALCALINS

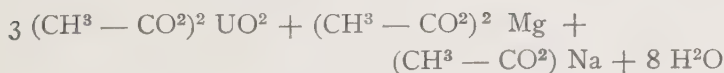
La faible quantité de calcium et de magnésium contenue dans les eaux thermales de Bains ne suffit pas à salifier les sulfates, silicates, chlorures et carbonates en dissolution.

Une recherche préliminaire nous a permis de déceler la présence de sodium et de potassium.

Nous indiquons ci-dessous le principe de ces dosages.

DOSAGE DU SODIUM

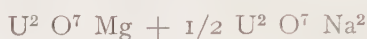
Pour doser le sodium, nous avons utilisé la méthode de M. BLANCHETIÈRE, modifiée par M. KAHANE (27). Cette méthode très sensible, permet d'opérer sur des quantités d'eau thermale faible. Le sel de sodium qui précipite est un sel triple octohydraté, cristallin, d'acétate triple d'urane, magnésium et sodium de poids moléculaire très élevé, qui se sépare facilement de la solution d'où il est précipité:



Une demi-heure suffit pour obtenir une précipitation totale. On filtre et on le sèche à l'étuve.

Ce sel n'est pas hygroscopique. On peut le doser par pesée ou par calcination. D'après M. KAHANE la sensibilité du dosage par pesée est de 2 %.

On peut également calciner le précipité. Le sel triple devient alors :



On pèse ce sel dont un gramme correspond à 0 gr. 02474 de sodium, ce qui laisse une grande sensibilité au dosage.

Le dosage du sodium a été exécuté sur toutes les eaux des sources thermales débarrassées, au préalable, de l'alumine, fer, calcium et magnésium.

Nous avons calciné le sel dans une capsule de platine.

Voici le tableau des résultats trouvés :

Nous exprimons ces résultats en ion sodium par litre d'eau :

Sources du Bain Romain :

Source Saint-Colomban	0 gr. 0805
Source de la Vache	0 gr. 0804
Source Robinet de Fer	0 gr. 0790
Source Robinet de Cuivre	0 gr. 0793
Source Romaine	0 gr. 0760
Source Souterraine	0 gr. 0730
Source Tempérée	0 gr. 0708
Grosse Source	0 gr. 072

Sources du Bain de la Promenade:

Source Casquin	o gr. 0758
Sources Fécondes N ^{os} 1 et 2	o gr. 0740
Source de la Promenade	o gr. 0602
Source froide du Parc	o gr. 0059

DOSAGE DU POTASSIUM

La présence du potassium n'avait pas été signalée dans les analyses des eaux de Bains, faites antérieurement aux nôtres.

Les résultats de nos dosages montrent que les eaux de Bains sont peu riches en potassium. La quantité maximum trouvée n'excède pas 0 gr. 002 par litre d'eau.

Pour doser le potassium, nous avons employé la méthode au Cobalti-nitrite en suivant le mode opératoire de MM. Albert LEULIER, VELLEZ et H. GRIFFON (26).

Nous évaporons un litre d'eau de chaque source thermale, car la recherche directe sur l'eau non concentrée est négative; nous calcinons légèrement, puis le résidu est repris par 10 cc. d'eau acétique à 1 %. Nous filtrons sur coton de verre pour retenir les parties insolubles, en particulier la silice.

Nous effectuons alors le titrage sur liqueur acétique, en utilisant une solution précipitante, préparée récemment, de Cobaltinitrite de soude: $\text{CO}(\text{NO}^2)^6\text{Na}^3$.

Le précipité se forme, on le laisse déposer quelques instants et on centrifuge. On suit le mode opératoire indiqué par MM. LEULIER, VELLEZ et H. GRIFFON.

Le titrage se fait avec une solution d'hyposulfite N/100, dont 1 cc. correspond à 0 mgr. 0650 de potassium, en utilisant une burette graduée en 1/20^e de centimètre cube.

Voici les résultats des dosages effectués, sur plusieurs sources. Les résultats sont exprimés en ion potassium :

Bain Romain :

Source Saint-Colomban	0 gr. 0014
Source Robinet de Cuivre	0 gr. 0014

Bain de la Promenade :

Source Casquin	0 gr. 0018
Source de la Promenade	0 gr. 0016
Source froide du Parc	0 gr. 00018

Ces résultats montrent une teneur un peu plus élevée en potassium dans les sources les plus froides.

RECHERCHE DU FLUOR

Beaucoup d'eaux minérales contiennent du fluor. La recherche de ce métalloïde est importante car on attribue, aux eaux d'origine profonde, une teneur plus élevée en fluor qu'aux eaux superficielles.

On trouve, en effet, le fluor dans les roches magmatiques.

Aux environs de Bains, les minéralogistes ont signalé la présence de géodes de silice contenant du fluorure de calcium.

Voici un tableau indiquant les quantités de fluor dosées par divers chimistes dans l'analyse des eaux minérales de diverses stations françaises :

Saint-Nectaire	0 gr. 015
Plombières (Vauquelin)	0 gr. 015
Plombières (Dames)	0 gr. 009
Evian (Cachat)	0 gr. 010
Luxeuil	0 gr. 007
Bussang	0 gr. 005
Vichy (Hauterive)	0 gr. 005
Contrexéville (Pavillon)	0 gr. 0006
Vittel (Grande-Source)	0 gr. 0004

On voit que les stations thermales vosgiennes, des Vosges granitiques et gréseuses contiennent toutes du fluor en quantité très importante.

Cette recherche n'avait pas encore été faite sur les eaux de Bains; aussi, avons-nous recherché le fluor dans toutes les sources thermales de cette station, en utilisant une méthode colorimétrique et par le procédé de gravure des plaques de verre.

I. — MÉTHODE COLORIMÉTRIQUE PROCÉDÉ J.-R. CASARES

On utilise un réactif composé d'une solution de nitrate de zirconium (0,87 %), et d'un volume égal d'une solution d'alizarine sulfonate de soude (0,17 %)

Cette méthode repose sur l'apparition d'une laque pourpre produite par le mélange des solutions d'alizarine sulfonate de sodium et de nitrate de zirconium.

En présence de l'ion fluor cette laque est détruite avec production d'acide zirconi-fluorhydrique et formation d'un colorant jaune citrin.

On opère directement sur l'eau sans concentration préalable. Dans un tube en verre pyrex on prélève 20 cc. d'eau, 2 cc. du réactif de Casares et 10 cc. d'acide chlorhydrique concentré pur. On laisse le mélange une heure et on observe la teinte jaune obtenue. Dans les eaux qui ne contiennent pas de fluor, la laque rouge qui forme le réactif se dépose au bout de quelques heures. On peut doser approximativement la teneur de l'eau en fluor en comparant la teinte obtenue à celle donnée par une solution de fluorure de sodium à 0 gr. 020 par litre. Toutes les eaux thermales de Bains contiennent du fluor.

II. — MÉTHODE DE GRAVURE DES PLAQUES DE VERRE

Dans un petit tube en plomb nous introduisons le résidu d'un litre d'eau thermale et 3 à 4 gouttes d'acide sulfurique concentré. On recouvre le tube d'une plaque de verre; les vapeurs d'acide fluosilicique qui se dégagent sont décomposées au contact de l'eau, avec production de silice gélatineuse, et d'acide fluorhydrique qui attaque le verre.

On compare à des plaques attaquées par des quantités de fluorures connues. Les résultats obtenus avec les sources thermales correspondent à 0 gr. 010 de fluorure de sodium par litre.

IODE ET BROME

Nous avons recherché ces métalloïdes par des procédés colorimétriques sensibles qui permettent de déceler leur présence dans les eaux jusqu'à 5×10^{-6} grammes par litre.

Pour cela, nous avons évaporé 10 litres d'eau thermale, en milieu alcalinisé par quelques centimètres cubes de soude normale. Après concentration à un volume de 500 cc., nous avons filtré le résidu, et nous l'avons lavé à l'eau bouillante. Dans le filtrat concentré à 100 centimètres cubes, nous avons recherché l'iode et le brome (14).

RECHERCHE DE L'IODE

Nous avons rempli d'eau à analyser une éprouvette de verre pyrex d'environ 50 cc., et traité par une solution de nitrite de soude à 5 %, et d'acide sulfurique à 66°. De suite, on refroidit et on ajoute 2 cc. de chloroforme pur; on agite le tube pendant une minute environ. Si l'eau contient de l'iode, le chloroforme prend une teinte rose violacée plus ou moins foncée.

RECHERCHE DU BROME

Pour faire cette recherche, nous avons utilisé la méthode de Deniges-Chelle, basée sur la production d'un composé coloré de la rosaniline en présence de brome. On traite une solution aqueuse de fuchsine au millièrne, décolorée à l'acide sulfurique à 5 % (14).

Comme pour la recherche de l'iode, on prélève dans un tube à essai, en verre pyrex d'une capacité de 50

centimètres cubes, 20 cc. de la solution concentrée de 10 litres d'eau thermale, 16 gouttes d'acide chlorhydrique, 16 gouttes de solution de chromate neutre de potassium, et 4 cc. d'acide sulfurique pur. On refroidit de suite le tube et on ajoute 1 cc. de réactif de fuchsine décoloré, puis 2 cc. de chloroforme pur, sans alcool. On agite vivement. La présence de brome dans l'eau donne une coloration rose plus ou moins foncée au chloroforme.

Ces réactions de l'iode et du brome pourtant très sensibles ont été négatives sur les quantités d'eau que nous avons traitées.

Le fluor et le chlore sont donc les seuls halogènes trouvés dans les eaux thermales de Bains.

Ces résultats ne doivent pas nous surprendre, car la géochimie (11) nous apprend que les gisements d'iode et de brome n'existent pas dans les régions juvéniles. On ne trouve ces métalloïdes dans les roches magmatiques qu'à l'état de dispersion.

Seules, les roches sédimentaires, les dépôts marins, contiennent l'iode, le brome, sous forme accumulée par l'activité biologique des organismes qui y vécurent.

CHAPITRE II

LES EAUX FROIDES

Nous avons indiqué précédemment que la faille granulitique, donnait naissance à une source froide et artésienne qui émerge dans le Parc, appelée Source du Parc. A cet endroit, la granulite est recouverte d'environ deux mètres de terre et de sable. Nous avons recueilli de cette eau, et nous l'avons analysée.

Voici les résultats de cette analyse :

Source du Parc :

Température	12°
Résistivité à 18°	17.500 ohms
Degré hydrotimétrique	6°
PH	6,6
Résidu sec par litre	0 gr. 053
Silice	0 gr. 026
Sulfate en SO ⁴	0 gr. 021
Chlore	0 gr. 0031
Sodium	0 gr. 0059
Potassium	0 gr. 00018
Calcium	0 gr. 0016
CO ²	traces

Bien que l'émergence de cette source soit également dans la granulite, les résultats de cette analyse montrent de grosses différences entre cette eau et les eaux thermales. La minéralisation totale, les constantes physiques sont tout autres. Il ne semble donc pas y avoir de mélange de ces eaux entre elles.

Nous n'avons pas analysé chimiquement d'eau des grès.

MM. GUILLERD et BORDAS (35), dans leur étude sur les eaux du trias vosgien donnent plusieurs analyses d'eaux des grès et citent en particulier comme eau type, celle de Ménarmont (Vosges gréseuses).

Voici les principales caractéristiques :

Résistivité à 18°	11.000 ohms
Silice	0 gr. 007
Sulfate en SO ³	0 gr. 0077
Chlore	0 gr. 0055
Calcium	0 gr. 0157
Magnésium	0 gr. 004
Fer	0 gr. 0007

On voit, par cet exemple, que la minéralisation est très faible, les terrains gréseux étant très peu minéralisateurs. Cette minéralisation est également différente de celle des sources thermales de Bains. On constate, en effet, que c'est l'ion chlore et les métaux alcalino-terreux qui constituent la plus grosse partie de la minéralisation, tandis que les ions de sulfate et silice s'y trouvent en quantité moindre.

CONCLUSIONS DE NOS RECHERCHES CHIMIQUES

Le caractère général qui se dégage de ces recherches est que les eaux thermales de Bains sont des eaux oligo-salines. Ce caractère les rapproche beaucoup des eaux de Plombières et de Luxeuil, tandis qu'il les sépare nettement des autres eaux minérales vosgiennes du Nord-Ouest des Faucilles qui constituent l'important bassin hydro-minéral de Vittel.

S'il est vrai que les eaux minérales de Bains et celles de Plombières contiennent des sulfates, ils ne sont pas aussi abondants que dans les eaux du bassin de Vittel et surtout ils ne sont pas accompagnés de sels alcalino-terreux. Il est remarquable, en effet, de souligner la faible quantité de calcium contenue dans les eaux thermales de Bains, ce qui rend ces eaux aptes à être employées au point de vue thérapeutique contre les manifestations de l'artériosclérose.

De même la teneur de ces eaux en silice est tout aussi remarquable. La silice représente, en effet, 25 % de la minéralisation totale.

Nos analyses nous ont permis également de noter avec intérêt que les eaux thermales de Bains des différentes sources ont une composition chimique très semblable.

Les petites différences observées d'une source à l'autre peuvent s'expliquer par la longueur inégale ou la nature des terrains que les eaux traversent. Il est bien évident que le parcours de roches à silicates basiques, granites à amphiboles, syénites, roches dioritiques,

sées, ne cèdent pas la même minéralisation aux eaux qui les traversent que les roches acides telles les granites et la granulite.

Enfin, nous avons pu mentionner l'existence en dissolution dans ces eaux de *magnésie*, d'*alumine* et de *fluor*, corps dont la recherche n'avait pas encore été entreprise dans les précédents travaux.

TROISIÈME PARTIE

Recherches Physico-Chimiques

PHYSICO-CHIMIE

On donnait autrefois le terme générique de caractères physiques d'une eau, à un ensemble d'observations sur l'aspect, l'odeur, la densité et la température d'un échantillon d'eau.

Ce sont, tout au moins, les seuls caractères physiques mentionnés par les anciens auteurs qui ont étudié les eaux thermales de Bains. Ces caractères nous paraissent actuellement insuffisants pour différencier des eaux qui, à l'analyse chimique, se sont révélées très semblables.

L'emploi des méthodes physiques modernes va nous permettre de mieux connaître la structure intime de ces eaux et d'établir pour chacune des sources analysées, des constantes physiques stables et faciles à vérifier.

En 1925, le Docteur ARNOLD, dans son travail sur les eaux thermo-minérales de Bains, a appliqué quelques-unes de ces méthodes à l'étude de l'eau de la source Saint-Colomban. Parmi elles, nous notons la cryoscopie, l'indice de réfraction, la tension superficielle, la conductibilité, l'acidité ionique.

Cependant, toutes ces recherches ne présentent pas le même intérêt : c'est ainsi que la cryoscopie, méthode sensible, ne permet pas un contrôle pratique des

changements chimiques que peut subir une eau; l'abaissement du point de congélation des eaux ne suit pas rigoureusement les variations de leur minéralisation.

L'indice de réfraction ne donne pas de renseignements utilisables pour caractériser une eau. M. GIRARDOT [21] dans sa thèse sur les eaux de Moselle, a montré que les variations de la tension superficielle étaient difficiles à interpréter.

Aussi, dans l'étude des eaux thermales de Bains, nous avons laissé volontairement de côté ces recherches parce qu'elles ne présentent pas un intérêt pratique de premier plan. Nous nous sommes arrêtés à l'étude de la thermalité, de la conductibilité électrique et de l'acidité ionique des eaux.

Les résultats que nous obtenons ainsi, déjà étudiés par beaucoup sur les eaux minérales de différentes stations françaises, serviront à mieux définir la composition physico-chimique des eaux minérales de Bains. Nous avons ajouté, à cette étude, une étude spectrophotographique faite sur le résidu de l'eau de la Source Saint-Colomban.

CHAPITRE PREMIER

MESURES ELECTRIQUES

Depuis les travaux de LEHNER, en 1897, de nombreuses recherches sur le passage du courant électrique dans les solutions aqueuses ont permis aux hydrologues de disposer d'une méthode de mesure particulièrement sensible et fidèle.

Nous rappelons en quelques mots sur quels phénomènes physiques furent basées ces recherches.

D'après la théorie d'Arrhénius, tout électrolyte fondu ou en dissolution dans un liquide subit une ionisation partielle, c'est-à-dire que quelques-unes de ses molécules sont dissociées à l'état d'ions.

C'est ainsi que la dissolution d'un sel comme le chlorure de sodium, entraîne la dissociation d'un certain nombre de ses molécules en ion chlore et en ion sodium, de signes contraires. Si dans une telle dissolution on plonge deux électrodes, les ions s'orientent suivant leur signe électrique et véhiculent le courant vers les électrodes. L'intensité du courant qui traverse cette solution est directement proportionnelle au nombre d'ions préformés et par conséquent à la quantité de corps dissous. On peut donc déduire de cette étude qu'elle est la richesse d'une eau en électrolyte.

RÉSISTIVITÉ ET CONDUCTIBILITÉ

On donne le nom de résistivité à la résistance opposée par une eau au passage du courant. Elle s'exprime en ohms, alors que la conductibilité, son inverse, est notée en inverse d'ohms (mhos).

L'eau la plus pure, distillée dans le quartz et conservée dans un récipient en étain, laisse très difficilement passer le courant, parce qu'elle ne contient pratiquement rien en dissolution. Cependant elle renferme quelques molécules dissociées en ions H^+ et OH^- .

On a pu obtenir, dans les meilleures conditions expérimentales, des eaux distillées dont la conductibilité était de l'ordre de $4,0 \times 10^{-5}$ ohms $^{-1}$. Dans notre laboratoire, nous utilisons une eau distillée moins rigoureusement pure mais cependant suffisante pour nos essais de dilution: $1,4 \times 10^{-5}$ ohms $^{-1}$, c'est-à-dire dont la résistivité est voisine de 70.000 ohms.

Si, donc, nous plaçons dans un circuit alimenté par une pile une cuve à électrolyse contenant de l'eau, la résistance totale du circuit sera, d'après la loi d'ohms:

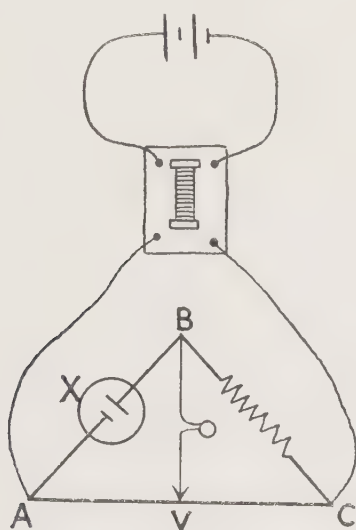
$$R = \rho \frac{l}{s}$$

représentant la résistivité de l'eau.

La valeur de ρ varie suivant la richesse de l'eau en électrolytes.

MESURE DE ρ

Dans les laboratoires on utilise le pont de WHEASTONE, modifié par KOHLRAUSCH, ou tout autre appareil de mesure sensible, dans le circuit duquel on intercale une cuve contenant le liquide d'expérience.



Pour éviter les phénomènes de polarisation et d'électrolyse on intercale une bobine d'induction qui donne naissance à un courant alternatif à fréquence élevée. Sur une des branches AB on intercale la cuve contenant le liquide à examiner. Sur la branche BC on place des résistances connues. Un téléphone est relié à un pôle en B aux deux fils et son autre pôle, muni d'un curseur, peut glisser sur un fil de platine

AC de façon à modifier les valeurs de AV et VC pour chercher l'extinction du son au téléphone.

Le silence du téléphone est obtenu lorsqu'on a :

$$\frac{AV}{VC} = \frac{x}{R}$$

d'où :

$$x = R \frac{AV}{VC}$$

L'application de cette méthode de mesure à l'étude des eaux minérales est très importante. Elle permet d'établir une constante physique très stable, rapide à vérifier et très sensible.

Par ce procédé, les mélanges d'eau douce à une eau minérale sont faciles à découvrir. Depuis plusieurs années, M. DIÉNERT utilise ce procédé pratique pour contrôler les eaux d'alimentation de la Ville de Paris. Les ingénieurs des mines chargés de la surveillance des sources hydrominérales exécutent périodiquement des mesures de conductibilité.

AUDIT-OHMMÈTRE DE CHAUVIN ET ARNOUX

Ce petit appareil, modèle de BORDAS et TOUPLAIN ne présente pas la sensibilité des appareils de laboratoire, mais il est pratique pour la mesure de la résistivité des eaux parce qu'il permet d'effectuer des mesures sur le terrain, au griffon même des sources. C'est ce même appareil qui est actuellement utilisé par le Service des Mines, chargé du contrôle et de la surveillance des sources minérales.

Il est constitué comme un pont de KOHLRAUSCH de dimension réduite, enfermé dans une petite ébénisterie en noyer, muni d'une pile, d'une bobine d'induction, de plots reliés à des résistances de 10, 100, 1.000 et 10.000 ohms, d'une cuve à électrolytes de forme calculée, et d'un téléphone en relation avec les résistances. Un curseur mobile peut être déplacé le long d'une réglette graduée, pour chercher la zone de silence.

COEFFICIENT DE CUVE

Les mesures ne sont comparables que si on a déterminé le coefficient de la petite cuve livrée avec chaque appareil; c'est-à-dire si on connaît la résistance à la cuve de l'eau: résistance qui dépend de la forme, et des dimensions de la cuve pour un liquide examiné.

On détermine ce coefficient qui est le simple rapport de la résistivité connue d'une solution de chlorure de potassium à 0 gr. 50 pour 1.000 dans l'eau distillée et du chiffre trouvé pour cette même solution avec l'appareil de CHAUVIN et ARNOUX.

Pour notre appareil en opérant avec 50 cc. de cette dissolution, nous avons obtenu:

1.175 ohms à 19°5

Il faut faire une correction, pour ramener toutes les lectures à 18°.

$$\frac{1.175}{0,970} = 1.211$$

$$\frac{1.210}{1.211} = 0,999$$

Ce coefficient de cuve est donc pratiquement de 1. Il n'y a pas lieu d'établir de correction.

PRÉCISION DES MESURES

Afin de nous rendre compte de la sensibilité des mesures données par l'audit-ohmmètre de CHAUVIN et ARNOUX, nous avons fait des essais sur la solution étalon de chlorure de potassium en la diluant avec des volumes connus d'eau distillée.

Voici les résultats obtenus avec une solution étalon de chlorure de potassium à 0 gr. 500 pour 1.000 cc. :

Solution étalon	1.210 ohms à 18°	
Dilution avec eau distillée 2 % ..	1.230	—
— — 4 % ..	1.250	—
— — 10 % ..	1.350	—
— — 20 % ..	1.370	—

D'où nous pouvons conclure qu'une dilution de 4 à 6 % d'eau distillée est décelée par cet appareil.

APPLICATION DE CES MESURES AUX EAUX THERMALES DE BAINS

On opère sur un volume d'eau constant pour lequel le coefficient de cuve a été déterminé (pour nous 50 cc. d'eau).

On branche la cuve aux fils conducteurs, on prend la température de l'eau, et on procède à une mesure

en cherchant par tâtonnement, le silence du téléphone, en déplaçant la fiche qui commande les résistances ainsi que le curseur de la réglette. On lit sur la réglette la valeur du rapport AV/VC mentionné plus haut. Le chiffre placé sur les plots des résistances indique la valeur en ohms de la résistance intercalée dans le circuit.

On a :

$$\rho_t = K \times R \times \frac{AV}{VC}$$

soit :

$$\rho_{18^\circ} = \rho_t \times \frac{1}{1 + \alpha (t - 18)} (1)$$

Exemple :

Eau de la Source Saint-Colomban :

Eau de la Source St-Colomban : $1 + \alpha (t - 18) = 0,956$

$$\begin{aligned} \rho_{t^\circ} &= 2.150 & \rho_{18^\circ} &= \frac{2150}{0,956} = 2240 \text{ ohms.} \\ t^\circ &= 20^\circ. \end{aligned}$$

Le tableau suivant donne les résultats des mesures faites à plusieurs reprises sur les eaux prises au griffon même des sources :

(1) Pour cela on peut utiliser également les tables de Guillard [35].

1° BAIN ROMAIN

	Juin 1933	Août 1933	Janvier 1934	Mai 1934
	—	—	—	—
Source Saint-Colomban ..	2.260	2.260	2.270	2.240
Source Robinet de Fer...	2.350	2.325	2.340	2.340
Source Robinet de Cuivre.	2.310	2.270	2.320	2.300
Source Tempérée.....	2.450	2.400	2.430	2.400
Grosse Source.....	2.390	2.350	2.360	
Source Souterraine	2.450	2.420	2.420	2.450
Source Romaine	2.320	2.300	2.310	2.270
Source de la Vache.....	2.310	2.300		

2° BAIN DE LA PROMENADE

	Juin 1933	Août 1933	Janvier 1934	Mai 1934
	—	—	—	—
Source Casquin	2.300	2.320	2.300	2.320
Source Féconde n° 1 ...	2.300	2.310	2.290	2.320
Source Féconde n° 2 ...	2.300	2.300	2.300	2.320
Source de la Promenade.	2.650	2.620	2.580	2.650

On voit, par ces résultats, que la résistivité des eaux des différentes sources présente de très faibles écarts. Ces écarts n'excèdent pas 400 ohms.

RECHERCHES SUR LA RÉSISTIVITÉ
ET LA TEMPÉRATURE DES EAUX MINÉRALES DE BAINS

Il existe semble-t-il une relation entre la valeur de la résistivité des eaux thermales et leur température.

	Température	Résistivité à 18°	Conductibilité à 18°
<i>Thermes du Bain Romain:</i>			
Source Saint-Colomban	50°	2.240	$4,4 \times 10^{-4}$
Source Romaine	41°5	2.310	$4,3 \times 10^{-4}$
Source de la Vache	34°7	2.310	$4,3 \times 10^{-4}$
Source Robinet de Cuivre..	46°1	2.310	$4,3 \times 10^{-4}$
Source Robinet de Fer	48°5	2.350	$4,2 \times 10^{-4}$
Grosse Source	46°5	2.390	$4,1 \times 10^{-4}$
Source Tempérée	45°2	2.420	$4,1 \times 10^{-4}$
Source Souterraine	40°5	2.450	$4,0 \times 10^{-4}$
<i>Thermes du Bain de la Promenade:</i>			
Source Casquin	39°	2.300	$4,3 \times 10^{-4}$
Source Féconde N° 1	40°2	2.300	$4,3 \times 10^{-4}$
Source Féconde N° 2	38°2	2.300	$4,3 \times 10^{-4}$
Source de la Promenade	33°4	2.600	$3,8 \times 10^{-4}$
<i>Sources du Parc:</i>			
Source de la Potinière	18°	12.500	$8,5 \times 10^{-4}$
Source du Parc	12°	17.000	$5,8 \times 10^{-4}$

Ce tableau montre qu'en général les eaux les plus chaudes de Bains sont aussi les moins résistantes au passage du courant.

RECHERCHES SUR LA RÉSISTIVITÉ
DES EAUX DE LA RÉGION DE BAINS

Pour cela, nous avons examiné quelques sources sortant de terrains différents :

	Résis- tivité	Témpé- rature	
	—	—	---
Eau du Bagnerot	24.000		Rivière
Eau d'une fissure thermique	4.120	18°	Granulite
Eau de Fontenoy	28.000	9°	Grès vosgien
Eau de Trémonzey	43.900	11°	Grès vosgien
Eau de la Terre Le Fers	24.000	12°	Grès bigarré
Eau du Million	55.000	9°	Grès bigarré
Eau Fontaine Chaude Gruey...	2.060	11°	Grès vosgien
Eau du Parc	17.500	11°	Granulite

En regardant ce tableau, on voit de suite que les eaux de la Source Fontaine Chaude, d'une fissure thermique et de la Potinière ont une résistivité qui se rapproche de celle des sources thermales. Ces sources sont, en effet, en relation avec la faille hydrominérale elle-même ou avec son prolongement; leur constante électrique jure avec celle des eaux météoriques qui parcourent les terrains triasiques. Les grès vosgiens et triasiques sont très peu minéralisateurs. La résis-

tivité des eaux qui les traversent oscillent entre 17.000 et 55.000 ohms.

Dans nos recherches chimiques nous avons donné le poids d'extrait sec obtenu en évaporant l'eau du Parc qui traverse la granulite. Ce résidu était de 0 gr. 05 par litre pour une résistivité de 17.500 ohms.

Ce n'est donc pas dans ces terrains, ni dans les grès permien, qui reposent sur la granulite, dans cette région, que l'eau thermale de Bains se charge en sels; mais dans le magma granitique lui-même ou dans des terrains archéens sous-jacents.

L'énorme différence trouvée entre la résistivité des eaux froides, issues des grès et de la granulite, nous a incité à rechercher comment varient les constantes électriques d'une eau thermale diluée avec de l'eau distillée.

Pour cela nous avons utilisé une eau distillée ayant 70.000 ohms de résistance à la température de 18°.

On constate que le mélange d'eau distillée à l'eau thermale de la Source Saint-Colomban, même en faible quantité, produit de suite des sautes de plusieurs centaines d'ohms. Nous avons obtenus de semblables résultats en diluant dans les mêmes conditions les eaux thermales des autres sources de la station ainsi que les eaux de la Source Saint-Colomban et de la Source Fontaine-Chaude des Bois de Gruy.

	Eau de Saint-Colomban	Eau Fontaine Chaude
Résistivité prise à 20°	2.200	1.900
Eau distillée: 10 %	2.400	2.100
— 20 %	2.700	2.300
— 30 %	3.000	2.600
— 40 %	3.300	2.900
— 50 %	4.300	3.600
— 60 %	5.300	4.600
— 70 %	7.200	6.200
— 80 %	10.000	10.000
— 90 %	18.000	16.500
— 95 %	26.000	21.000

Ces résultats indiquent que les mélanges d'une eau très résistante, comme l'eau distillée, à une eau thermique de Bains ou de la région, se traduisent à l'audit-ohmmètre par une saute de plusieurs centaines d'ohms.

Ceci est d'autant plus facile à déceler que les eaux froides de la région de Bains ont, comme nous l'avons vu, des résistivités comprises entre 10.000 et 55.000 ohms.

RÉSUMÉ

On voit, par ces quelques recherches, l'intérêt que présente l'étude de la résistivité d'une eau minérale.

Les moindres variations dans le régime hydrologique d'une source sont révélées par l'audit-ohmmètre de CHAUVIN et ARNOUX. Ces mesures, simples et précises, permettent de suivre, pour ainsi dire, journalle-

ment, les modifications que subit la composition d'une eau.

Les eaux thermales de Bains nous apparaissent homogènes, de même constitution physico-chimique. Les faibles variations observées, qui n'excèdent guère 300 ohms, peuvent être attribuées aux parcours souterrains différents plus ou moins longs dans des couches géologiques semblables.

Les eaux froides de la région, tellement différentes, n'ont sans doute aucun rapport d'origine avec les sources thermales. Même celles qui utilisent, pour arriver au sol, la même faille que les eaux thermales apparaissent distinctes.

Pour terminer cette étude des constantes électriques des eaux thermales de Bains, nous indiquons dans le tableau suivant quelques stations minérales françaises connues, classées suivant leur conductibilité en trois catégories :

Eau fortement conductible, c'est-à-dire fortement minéralisée; eaux de conductibilité moyenne, c'est-à-dire dont la minéralisation n'excède guère 1 gr. de sel par litre. Enfin, eaux de faible conductibilité, très peu minéralisées.

1° EAUX DE CONDUCTIBILITÉ FORTE

Aix-les-Bains	81,7 $\times 10^{-4}$
Vichy Grande Grille	61,6 $\times 10^{-4}$
La Bourboule	68,8 $\times 10^{-4}$
Royat-Saint-Mart	48,2 $\times 10^{-4}$
Pougues-Saint-Léger	30,7 $\times 10^{-4}$

2° EAUX DE CONDUCTIBILITÉ MOYENNE

Bussang	20,5 / 10^{-4}
Mont Dore	18,0 $\times 10^{-4}$
Luxeuil (Dames)	17,9 $\times 10^{-4}$
Uriage	11,8 $\times 10^{-4}$
Vittel (Grande Source)	10,7 $\times 10^{-4}$

3° EAUX DE CONDUCTIBILITÉ FAIBLE

Luxeuil (Hygie)	5,0 $\times 10^{-4}$
Evian (Cachat)	4,5 $\times 10^{-4}$
Bains (Saint-Colomban)	4,4 $\times 10^{-4}$
Plombières (Alliot)	2,0 $\times 10^{-4}$
Bagnoles-de-l'Orne (Fée)	0,21 $\times 10^{-4}$

En regardant ce tableau, nous remarquons que les eaux thermales de Bains se classent parmi les eaux minérales oligométalliques, c'est-à-dire peu minéralisées, ce qui confirme les résultats de notre étude chimique.

CHAPITRE II

THERMALITÉ DES EAUX DE BAINS

Les sources thermales de Bains, toutes situées, comme nous l'avons vu, le long de la faille granulitique empruntent pour arriver au sol les cheminées naturelles taillées dans ces granites ou les diaclases produites par des dislocations secondaires.

Les variations de température, notées au griffon des sources, peuvent donc nous renseigner sur le régime des eaux et sur leur parcours souterrain.

Nous avons utilisé pour ces mesures deux thermomètres à mercure, divisés en 1/10 de degré, dont nous avons vérifié le zéro avant chaque série de mesure.

Chaque fois que cela a été possible, nous avons introduit les thermomètres dans la fracture même ou dans la tuyauterie d'amenée d'eau en choisissant l'endroit le plus rapproché du point d'émergence.

Voici le tableau des températures relevées dans ces conditions au griffon des différentes sources thermales.

Au bas de ce tableau, nous avons mentionné la température des sources froides issues au voisinage immé-

diat de la même faille dans le parc de l'établissement thermal.

TEMPÉRATURE DES DIFFÉRENTES
SOURCES THERMALES DE BAINS

I. — *Sources captées au Bain Romain:*

Source Saint-Colomban	51°
Source Romaine	41°5
Source Robinet de Fer	49°
Source Robinet de Cuivre	46°1
Source Grosse Source	46°7
Source Tempérée	45°2
Source Souterraine	40°5
Source de la Vache	34°7

II. — *Sources captées au Bain de la Promenade:*

Source Casquin	30°
Source Féconde N° 1	40°2
Source Féconde N° 2	38°2
Source de la Promenade	33°4

III. — *Sources non captées du Parc:*

Source de la Potinière	18°
Source du Moulin	12°
Source du Parc	12°

On remarquera que les eaux les plus chaudes sont celles qui sourdent au Bain Romain. Leur température

oscille entre 40° et 51°, sauf une exception, la Source de la Vache dont le faible débit peut être une cause de refroidissement de l'eau au contact des roches encaissantes.

Les sources qui sont captées au Bain de la Promenade ont une température ne dépassant pas 40° à 41°.

Celles qui sourdent au Parc sont encore plus froides et ne reçoivent guère que des veines d'eau thermale venant se mélanger à des eaux d'une autre origine.

Nous pouvons évaluer approximativement de quelle profondeur les eaux thermales de Bains proviennent. Si nous admettons comme degré géothermique 30 à 35 mètres et si nous prenons pour température moyenne des sources froides, 10°, nous constatons que la Source Saint-Colomban, dont la température au griffon dépasse 50° proviendrait de 1.200 à 1.400 mètres de profondeur.

C'est d'ailleurs entre 1.200 et 3.000 mètres que les géologues situent les foyers éruptifs dans l'écorce terrestre.

En se reportant à l'étude chimique que nous avons faite de ces eaux, nous constatons à Bains que ce sont les eaux les plus chaudes qui contiennent le plus d'éléments minéraux dissous.

VARIATIONS COMPARÉES DE LA TEMPÉRATURE DES SOURCES

Voici, à titre indicatif, des observations, relevées pendant quinze jours consécutifs, sur la température de deux sources sortant du sol à 15 mètres environ l'une de l'autre dans le même établissement de Bains.

Nous avons utilisé pour cela trois thermomètres à mercure divisés en $1/10^{\circ}$ de degré, dont le zéro avait été vérifié. Nous indiquons, par comparaison, la température extérieure ainsi que l'heure à laquelle ces mesures ont été exécutées.

TEMPÉRATURES COMPARÉES A LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE
DES SOURCES ROBINET DE FER ET ROMAINE

Mois de Mars 1934	Température Source Robinet de Fer	Température Source Romaine	Température extérieure
—	—	—	—
6....	48°5	41°4	6°5 à 9 h. 15
7....	48°4	41°4	6°5 à 9 h. 10
8....	48°4	41°4	4°5 à 9 h. 50
9....	48°3	41°5	3°5 à 8 h. 50
10....	48°4	41°4	7° à 9 h. 40
11....	48°4	41°3	5° à 9 h. 15
12....	48°3	41°6	7° à 10 h. 15
13....	48°4	41°5	6° à 9 h. 40
14....	48°5	41°4	7° à 10 h. 20
15....	48°4	41°4	7° à 8 h. 50
16....	48°5	41°5	8° à 9 h. 15
17....	48°4	41°4	8° à 9 h. 30
18....	48°5	41°4	8° à 9 h. 40
19....	48°4	41°4	8° à 10 h. 10
20....	48°4	41°4	8° à 9 h. 20

Comme on peut s'en rendre compte en regardant le tableau ci-dessus, les variations de température sont peu importantes et de l'ordre des variations enregistrées dans d'autres stations thermales.

Une différence de 0°,4 à 0°,5 est courante. Il ne paraît pas y avoir de relation entre les variations de la température atmosphérique et la température prise au griffon des Sources.

Nous avons pu noter 50° un jour d'orage à la Source du Robinet de Fer. Il est probable que la chute de pression barométrique qui se produit dans ce cas, augmente la vitesse de circulation de l'eau dans les conduits naturels du sol et augmente le débit des sources qui arrivent ainsi plus chaudes en surface.

STABILITÉ DE LA TEMPÉRATURE DES EAUX DE BAINS

Il existe dans les auteurs qui ont étudié les eaux thermales de Bains des documents qui nous intéressent parce qu'ils mentionnent la température de différentes sources exploitées à leur époque. Le petit livre de NICOLAS (5) qui date de 1778, nous donne à ce sujet quelques renseignements précis :

« Il y a à Bains plusieurs sources chaudes qui se distribuent dans deux bassins ; le premier qu'on nomme *Grand Bain* ou *Bain Ancien*, reçoit les eaux de trois sources différentes, dont la plus chaude donne au thermomètre de Réaumur : 40 degrés. Une autre, découverte depuis peu, et qu'on nomme *Source Romaine*, fait monter le mercure à 36 degrés. Une

seule source fournit le second bain, autrement, le Bain Nouveau; elle donne 33 degrés ».

THIRRIAT dans son livre intitulé: *Essai sur les eaux de Bains*, publié en 1808, indique la température de plusieurs sources captées au Bain vieux et au Bain neuf.

Il indique des températures indentiques à 1° centigrade près pour la Grosse Source (Source Saint-Colomban actuelle) et pour la Source Romaine.

La Source Robinet de fer présente par contre une grosse différence avec celles que nous connaissons; il est probable que cette Source, nommée Robinet de fer n'est pas celle actuellement utilisée. Il y a en effet plusieurs Sources au Bain Romain dont la température correspond à celle indiquée par THIRIAT: Source Romaine et Source Souterraine.

Le tableau suivant résume la température observée sur trois de ces sources à des époques très différentes:

	ANNÉE 1778		ANN. 1808	ANN. 1933-34
	Degré Réaumur	Degré Centigr.	Degré Centigr.	Degré Centigr.
Source St-Colomban ...	40°	50°	50°-52°	50°-51°
Source Romaine	36°	45°	42° 5	41° 5
Source Féconde N° 1..	33°	41°	31°	40° 2

Ce petit tableau montre que depuis 150 ans, la température des sources est restée stable. Il n'y a eu ni réchauffement, ni refroidissement accentué de la température des eaux. Ceci n'est pas pour surprendre,

car les fissures profondes, qui amènent les eaux thermales en surface, sont taillées naturellement dans la roche très dure de ces régions. Il ne peut donc guère se produire, dans des temps aussi courts pour des périodes géologiques, de modifications importantes dans la venue des eaux thermales.

RÉSUMÉ

De l'ensemble de ces observations, nous retiendrons en guise de conclusions les remarques suivantes :

D'une façon générale, les sources, issues de la faille granulitique, placées géographiquement vers l'est, ont une température moins élevée que celles qui sourdent vers l'ouest :

Les eaux du parc sont froides, la Source de la Promenade est tiède, alors que toutes les sources du Bain Romain, sauf la Source de la Vache, accusent au griffon une température supérieure à 40°.

La température des sources est très constante. Les oscillations thermiques des eaux, d'un jour à l'autre, n'atteignent pas 0°,5 alors que la température extérieure varie, dans le même temps, de plusieurs degrés.

Les oscillations légères constatées ne sont pas parallèles pour les sources. La température extérieure ne paraît pas influencer sur les différences observées.

THERMALITÉ DES EAUX MINÉRALES DE BAINS
COMPARÉE A CELLE DE QUELQUES STATIONS
THERMALES FRANÇAISES

Voici, à titre de comparaison, les températures constatées au griffon des sources de quelques stations thermales françaises connues. Dans ce tableau sont mentionnées les sources thermales les plus chaudes de chaque station :

Chaudes Aigues (Cantal)	88°
Plombières	71°
Bourbonne	68°
Bagnères Luchon	66°
Luxeuil	56°
Néris	53°
La Bourboule	52°
Bains-les-Bains (Saint-Colomban) ..	51°
Aix-les-Bains	45°

On voit en regardant ce tableau, que la station de Bains se classe parmi les plus chaudes stations thermales françaises.

CHAPITRE III

MESURE COLORIMÉTRIQUE DU Ph

Les eaux naturelles, comme les liquides biologiques, présentent aux indicateurs colorés des réactions ioniques différentes suivant leur composition physico-chimique.

Alors que l'eau distillée à un Ph voisin de 7,00, certaines eaux minérales alcalines, sulfurées, possèdent un Ph 8 ou 9,00. D'autres eaux qui parcourent des terrains siliceux ont des Ph nettement inférieurs à 7,00.

Le Ph des eaux minérales est donc très différent suivant l'origine géologique des eaux. Il renseigne sur leur parcours souterrain. De même que la mesure de la conductibilité électrique, la mesure du Ph nous permet d'établir une constante physico-chimique de valeur.

Nous avons tenu à établir, aussi correctement que possible, qu'elle était la réaction ionique des eaux thermo-minérale de Bains, comparées aux eaux de la région.

Pour opérer facilement, au griffon même des sources, nous nous sommes servis d'une échelle colorimé-

trique, préparée par les Etablissements Kulhmann, qui permet, à l'aide de tubes témoins, d'apprécier des variations de Ph égales à 0,2. L'indicateur utilisé est la sulfone-phénolphtaléine.

Tout d'abord, nous avons constaté la bonne concordance de nos mesures avec les observations du Ph de M. ARNOLD (1) dans sa thèse sur les eaux therminérales de Bains. Les chiffres obtenus indiquent une eau sensiblement neutre.

Voici les faibles variations trouvées dans la recherche du Ph au griffon des Sources.

SOURCES THERMALES

PH (Unités Sörensen)

Source Saint-Colomban	7,2	7,3
Source Robinet de Fer	7,2	7,3
Source Robinet de Cuivre	7,2	7,3
Source Romaine	7,2	7,3
Grosse Source	7,2	7,2
Source Tempérée	7,2	7,2
Source Souterraine	7,1	7,2
Source de la Promenade	7,1	7,1
Source de la Vache	7,3	7,3
Source Casquin	7,2	7,3
Source Féconde n° 1	7,2	7,3
Source Féconde n° 2	7,2	7,3

VARIATIONS DU PH DES EAUX THERMALES

Nous avons conservé pendant un long temps de l'eau des différentes sources embouteillées au mois de juin 1933.

Le Ph fut pris en débouchant les bouteilles au mois de septembre 1933, et au mois de janvier 1934.

Sauf pour les sources Robinet-de-Cuivre et Promenade qui nous ont donné Ph: 7,2, nous avons trouvé uniformément un Ph: 7,3.

Bien que l'eau de Bains aussitôt débouchée dissolve en quelques instants l'oxygène de l'air, pour être en état d'équilibre avec ce gaz dans l'atmosphère, nous n'avons pas constaté de variation du Ph dans le même temps.

Cependant, si une bouteille est laissée débouchée plusieurs jours ou si l'eau est prélevée dans une bonne en vidange, nous obtenons constamment des Ph 7,5 et Ph 7,6, ce qui montre une modification de l'acidité réelle de l'eau.

Le même résultat, mais plus marqué, est obtenu après ébullition prolongée de l'eau (5 à 10 minutes). Sans voir de précipité, le Ph dépasse 8,00. On peut attribuer ces différences à la disparition d'une partie du gaz carbonique en dissolution dans l'eau.

PH DES EAUX DE LA RÉGION DE BAINS

Nous avons également noté la valeur du Ph des eaux en rapport avec les terrains gréseux et la granulite.

Voici un tableau des valeurs trouvées :

	Ph
	—
Eau d'une fissure	6,8
Source de la Potinière	6,7
Source du Parc	6,6
Eau de Fontenoy	6,6
Eau de Trémonzey	6,6
Fontaine du Million	6,6

Toutes les eaux que nous avons examinées présentent un Ph inférieur à 7.

Elles traversent les terrains gréseux. Quelques-unes passent antérieurement dans les granulites. Les eaux de la Fissure et de la Source de la Potinière sont des mélanges d'eau thermique et d'eau sortant des grès vosgiens.

En résumé, les résultats obtenus dans nos mesures mettent en évidence la similitude de l'ionisation des sources thermales examinées.

L'étude du Ph, comme celle de la conductibilité, nous permet, également, de souligner la grosse différence de constitution physico-chimique des eaux minérales, et des eaux froides de la région.

En effet, les Ph sont pour ces eaux, d'autant plus alcalins qu'elles sont plus chaudes ; les Ph acides caractérisent au contraire les eaux froides issues de la granulite, ou des terrains gréseux.

RELATION ENTRE LA THERMALITÉ,
LE PH ET LA CONDUCTIBILITÉ DES EAUX
ISSUES DE LA FAILLE GRANULITIQUE

Si nous rapprochons les divers résultats obtenus dans l'étude physico-chimique des sources thermales et froides, nous sommes conduit à faire quelques remarques intéressantes sur la composition des eaux.

Nous avons noté dans le tableau ci-dessous deux sources de chaque établissement de Bains, et deux sources du Parc :

	Tempé- rature —	PH —	Conductibilité à 18° —
<i>Bain Romain :</i>			
Source Saint-Colomban ...	51°	7,3	$4,4 \times 10^{-4}$
Source de la Vache	34°7	7,3	$4,3 \times 10^{-4}$
<i>Bain de la Promenade :</i>			
Source Casquin	39°	7,2	$4,3 \times 10^{-4}$
Source de la Promenade..	33°7	7,1	$3,8 \times 10^{-4}$
<i>Au Parc :</i>			
Source de la Potinière....	17°5	6,7	$8,0 \times 10^{-5}$
Source du Parc	12°	6,6	$5,7 \times 10^{-5}$

La température des Sources Saint-Colomban et de la Source de la Vache, sont très différentes, alors que leurs caractères physico-chimiques sont très semblables. On peut donc attribuer cette différence de température à un trajet souterrain plus long dans des

roches cryogènes pour la Source de la Vache, et non pas à une eau froide en mélange, ce qui se traduirait comme pour la Source de la Potinière par une dénaturation des caractères physico-chimiques.

RÉSUMÉ

Ces diverses recherches physico-chimiques nous ont confirmé la similitude de composition des eaux thermales des différentes sources, déjà remarquée dans nos analyses chimiques.

Les variations de la température, de l'acidité ionique, des constantes électriques, d'une source à l'autre peuvent s'expliquer par des trajets souterrains plus ou moins longs dans les roches magmatiques de différentes natures. On doit leur attribuer une origine commune.

Il en est de même de la Source Fontaine-Chaude de Gruey, dont les caractères physico-chimiques sont très voisins de ceux des sources thermales, malgré la distance de plusieurs kilomètres qui la sépare des autres sources thermales de Bains.

Au contraire les sources froides de la région, même celles issues de la faille granulitique de Bains, ont une composition physico-chimique toute différente et ne peuvent être regardée comme ayant la même origine que les sources thermales.

CHAPITRE IV

RECHERCHES SPECTROGRAPHIQUES

L'analyse chimique ne nous ayant pas permis de déceler dans les eaux de Bains le lithium et le titane que nous pensions devoir y trouver, nous nous sommes adressé à un mode d'analyse particulièrement sensible dans la recherche des traces de substances métalliques : l'analyse spectrographique.

Le Laboratoire de Physique de notre Faculté possédait en effet des spectrographes adaptés à cet usage : nous en avons utilisé deux.

Le premier est un spectrographe Cojan à grande luminosité, à optique de verre, et réglé pour le spectre visible. C'est un appareil à deux prismes, ouvert à $F/4$, 7 ; la dispersion linéaire obtenue varie de 13 à 25 U.A. entre 4.000 à 5.000 U.A. ; la plaque est inclinée de 13° sur l'axe de l'objectif de chambre ; la planéité de champ de ce spectrographe est tout à fait remarquable.

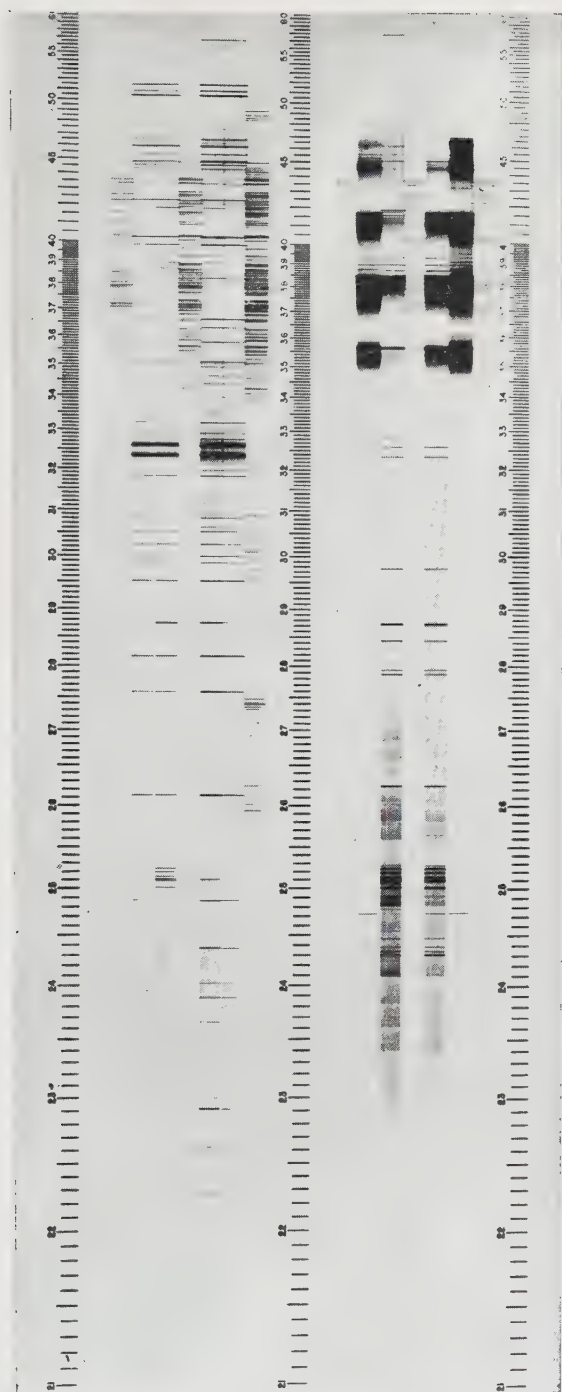
Le second est un spectrographe à optique de quartz, construit par A. HILGER, à Londres. Les distances focales du collimateur et de l'objectif de chambre sont de 60 cm. ; il est ouvert à $F/10$. L'emploi de lentilles

asphériques permet une excellente définition des raies, et améliore grandement le pouvoir séparateur et la luminosité de ce type par rapport aux modèles antérieurs; les raies sont parfaitement nettes de 2.050 à 8.000 U.A. Le format de plaques utilisé ici est 10 cm. sur 25, alors qu'avec le spectrographe à optique de verre on utilisait le format $6\frac{1}{2} \times 9$.

Mode opératoire. — Nous avons utilisé le procédé classique, qui consiste à mettre le produit à analyser, — ici le résidu de l'évaporation à siccité de l'eau de la source de Saint-Colomban —, dans une cavité creusée dans l'électrode inférieure d'un arc. Et nous avons photographié sur une même plaque:

- a) le spectre des électrode neuves;
- b) le spectre de la substance en expérience;
- c) le spectre d'un mélange où l'on introduit des sels des métaux que l'on recherche, ceci aux fins d'identification de raies caractéristiques;
- d) le spectre du fer, dont les nombreuses raies, très bien connues, servent de point de repères dans la détermination des longueurs d'onde.

Les électrodes utilisées étaient de graphite pur Hilger, ou de cuivre pur, également en provenance de la maison Hilger. Bien que ces électrodes soient fabriquées avec des matériaux spécialement purifiés, elles contiennent encore des substances étrangères qu'il est nécessaire de connaître, d'où la nécessité du spectre a). L'intensité de courant utilisée a été de 5 ampères, avec une longueur d'arc de quelques millimètres.



Spectres d'arc obtenus avec le résidu d'évaporation
de l'eau de la Source Saint-Colomban.

Les longueurs d'onde ont été déterminées par interpolation entre les deux raies du fer les plus voisines de la raie à étudier; les distances ont été mesurées à l'aide d'une machine à mesurer les spectres qui permet l'appréciation fidèle du $1/200^{\circ}$ de millimètre.

RÉSULTATS

1° *Spectrographe n° 1.* — Nous avons en vue dans ce cas la recherche du lithium. Nous avons dans le spectre du résidu étudié, identifié les raies suivantes du lithium:

3.915,0 et 4.132,3 assez faibles (à cause de l'absorption par les prismes de l'extrémité violette du spectre); puis les raies

4.273,3	intensité	7
4.602,2	intensité	20
4.972,0	intensité	7

La présence de ces cinq raies caractéristiques nous permet de conclure à la présence de lithium.

2° *Spectrographe n° 2.* — Nous avons ici étudié un certain nombre de plaques dans la zone 2.100 à 5.000 U.A.

Nous n'indiquons dans les résultats suivants que les métaux identifiés par plusieurs raies sur lesquelles aucune ambiguïté n'est permise. La proximité de raies de métaux différents rend en effet quelquefois délicate l'interprétation des spectres. Nous pensions, en entreprenant cette étude, mettre en évidence l'existence du titane: nous y avons réussi, et avons de plus caracté-

risé les éléments suivants: titanium, baryum, strontium, calcium, vanadium, zirconium, magnésium, silicium.

Métaux	Raies observées	Métaux	Raies observées
Ba.	4.934,42 4.554 4.431,7 4.359,4 4.288,86 4.283,16	Sr.	4.412,6 4.319,13
		Mg.	3.837,8 3.832,2 2.851,6 2.802,8 2.795,8
Ti	3.653,7 3.528,16 3.477 3.394,7 3.387,9 3.386 3.377,3 3.371,45	V.	4.105,17 3.990,58 3.185,9 3.183,54 2.955,33 2.944,55 2.700,75
Ca.	4.319,1 4.302,1 3.968,5 3.933,5 3.349,8 3.000	Si	3.905,45 2.987,9 2.887,5 2.524,12 2.519,5 2.516,2 2.515
Zr.	3.182,9 2.700,75		2.506,8 2.438,8 2.123

De plus, nous avons trouvé de nombreuses raies du fer, et un certain nombre de raies pouvant se rapporter à des terres rares. Une étude ultérieure, portant sur les résidus d'évaporation de toutes les sources classées, permettra une conclusion sur ce dernier point.

QUATRIÈME PARTIE

Etude de la Radioactivité

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

Avant de commencer l'étude de la radioactivité des eaux minérales de Bains, phénomène qui touche de près à la constitution intime des corps, nous pensons qu'il est utile de rappeler brièvement ce que nous connaissons de la structure de la matière.

Pour coordonner les divers phénomènes physiques et chimiques observés, les physiciens et les chimistes furent amenés à considérer la matière comme discontinue, c'est-à-dire formée d'atomes, très petites parcelles de matière capables de réagir, entre elles, sous diverses influences.

Un atome serait formé essentiellement d'un noyau central entouré de corpuscules très petits, appelés électrons, mobiles autour de ce noyau. Cette masse centrale porte en elle les caractères spécifiques du corps.

Tous les phénomènes physiques tels que : ionisation, production de lumière, de chaleur, émission d'électrons et toutes les réactions chimiques sont alors explicables par des modifications subies dans le nombre, et dans la position occupée par les électrons autour du noyau.

C'est ainsi que l'ionisation d'un corps est due à la capture ou à la perte d'électrons périphériques, tandis que l'émission de rayons X est provoquée par le choc d'électrons placés plus près du noyau.

Mais, ces divers phénomènes n'intéressent pas directement les noyaux des atomes. Ces noyaux restent tels, quelles que soient les réactions chimiques, ou les changements d'état subis par les atomes. Nous pouvons toujours, par des moyens appropriés, les retrouver intacts sans que leur masse atomique ait subi la moindre altération.

Au contraire, dans les phénomènes de radioactivité, ce sont les noyaux atomiques qui subissent des altérations profondes; une véritable dislocation de la masse centrale de l'atome radioactif.

Tout se passe comme si, pour une cause qui nous échappe encore, ces noyaux atomiques devenaient subitement instables et explosaient en rejetant une partie de leur énergie sous forme de corpuscules α ou β ou de radiations γ .

Les radiations γ forment un rayonnement électromagnétique de même nature que les rayons X; certaines d'entre elles sont tellement pénétrantes qu'elles peuvent traverser une épaisseur de plomb supérieure à 22 centimètres.

Les radiations β , très analogues physiquement à nos rayons cathodiques, sont constituées comme eux par des électrons animés d'une vitesse voisine de celle de la lumière. Mais ces électrons ont pour origine le noyau de l'atome.

Enfin les corpuscules α , appelés aussi hélions, dont la masse est importante, sont constitués par des atomes d'hélium chargés positivement, doués d'une énergie cinétique considérables. Leur départ ampute le noyau d'une telle quantité de matière que sa masse atomique diminue de quatre unités, Ainsi l'atome de radium de poids atomique 226 en expulsant par désintégration une particule α donne naissance à un atome d'émanation de poids atomique 222. La régularité de ce phénomène se poursuit dans les désintégrations ultérieures. Le nouvel élément ainsi formé est un nouveau corps, dont les propriétés physiques et chimiques sont le plus souvent distinctes du radio-élément dont il dérive. Ainsi se trouve réalisé par la nature, la transmutation des corps cherchée de tout temps par les alchimistes.

Lorsqu'un radio-élément s'est mué en un autre corps radio-actif, il nous est impossible de reconstituer l'atome primitif; quels que soient les moyens physiques que nous puissions employer.

La désintégration atomique des corps radioactifs suit une loi exponentielle simple. L'exponentielle e^{-at} est le facteur général de décroissance de beaucoup de phénomènes physiques. La quantité a étant la réciproque d'une autre quantité T appelée constante de temps: $T = a^{-1}$.

En radioactivité, cette exponentielle devient $e^{-\lambda t}$ dans laquelle e est la base des logarithmes Neperiens, λ la constante de désintégration propre à chaque corps radioactif, t la variable de temps qui peut être exprimée en jours, minutes, secondes.

On retrouve alors l'expression générale de décroissance.

$$q = q_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

dans laquelle q représente la quantité d'une substance radioactive présente à l'instant t , et q_0 la quantité de radioélément primitive.

On appelle vie moyenne d'un élément radioactif, l'inverse de la constante de désintégration: vie moyenne $= \lambda^{-1}$.

On donne le nom de période au temps nécessaire pour que la moitié des atomes d'une substance radioactive soient désintégrés. Pour le radium cette période est longue et correspond à 1.580 ans; pour le radium A, elle n'est que de 3 minutes.

On voit par ces explications que la durée de vie des substances radioactives varie d'un élément à un autre. Certaines d'entre elles ont une vie si courte que l'on ne connaît que leur période. Mais leur vitesse respective de désintégration est absolument fixe. Nous ne connaissons aucun moyen physique, ni chimique, capable d'augmenter ou diminuer la durée de vie de ces corps (24).

Tous les corps radioactifs, trouvés dans la nature, peuvent être groupés en trois familles, dont les éléments dérivent les uns des autres par désintégration de leur atome.

Ce sont: la famille du thorium, dont les poids atomiques sont tous des multiples de quatre: $4n$ (ou n représente un nombre entier); la famille de l'uranium-radium, $4n + 2$, et la famille de l'actinium $4n + 3$.

Jusqu'à présent, on n'a pas isolé de corps radioactifs appartenant à une famille dont le poids atomique corresponde à la forme $4n + 1$.

Dans le tableau ci-dessous, nous avons réuni les différents termes de désintégration produits par le radium jusqu'au stade radium G, métal isotope du plomb, dont l'atome enfin stable ne subit plus de transformations. Nous donnons l'indication de leur période et la nature des radiations émises (32):

Elément	Période de transformation	Nature des radiations émises
Radium	1,690 ans	α
Gaz émanation (radon)	3,825 jours	α
Radium A	3,0 minutes	α
Radium B	26,8 minutes	β, γ
Radium C	19,5 minutes	β, γ
Radium C'	10^{-6} seconde	α
Radium D	16,5 ans	β, γ
Radium E	5,0 jours	β
Radium F (Polonium)	136 jours	α
Radium G (Plomb)		non radioactif

Les expériences de M. et M^{me} JOLIOT-CURIE ont montré qu'il était possible d'obtenir des corps radioactifs nouveaux en bombardant des métaux au moyen d'électrons accélérés ou en les plaçant dans une ampoule contenant de 300 à 700 millicuries de radon en présence de poudre de glucinium [30].

M. et M^{me} JOLIOT-CURIE ont pu obtenir ainsi le radio-azote et la désintégration de métaux légers composés non radioactifs, lithium, bore, aluminium, fluor et de métalloïdes [31].

Ces corps radioactifs, qui libèrent ainsi par autodestruction une partie de leur énergie atomique, nous les retrouvons dans le sous-sol, à l'état de dispersion extrême. Autrefois on regardait comme exceptionnelle une roche ou une eau dans lesquelles on pouvait déceler la radioactivité et les premières recherches de Pierre CURIE et A. LABORDE sur les eaux minérales ne relatent que quelques gaz spontanés radioactifs, parmi lesquels figurent ceux de Bains-les-Bains.

Voici, à titre d'exemple, la teneur moyenne en radium contenue par tonne de roche dans différents terrains :

Roches granitiques acides...	$3,0 \times 10^{-9}$ grammes de radium par tonne de roche.
Roches granitiques basiques.	$1,3 \times 10^{-9}$ grammes de radium par tonne de roche.
Roches sédimentaires	$1,4 \times 10^{-9}$ grammes de radium par tonne de roche.

Le thorium, autre radioélément, est contenu en plus grande quantité,

Roches granitiques acides...	9,1 grammes de thorium par tonne de roche.
Roches granitiques basiques.	3,2 grammes de thorium par tonne de roche.
Roches sédimentaires	4,3 grammes de thorium par tonne de roche.

Ces tableaux montrent que les corps radioactifs sont distribués inégalement, mais toujours à un état

de division extrême dans les régions explorées de l'écorce terrestre (II).

Les eaux qui traversent les terrains volcaniques et les roches magmatiques acides sont donc susceptibles de contenir des traces de radioéléments et leurs produits de transformation.

En général, les quantités de radium que l'on décèle dans les eaux est de l'ordre de $n \times 10^{-12}$ gramme par litre. On a cependant trouvé, en Russie, en 1929, dans des eaux provenant de nappes aquifères salées, voisinant avec des puits de pétrole, des quantités voisines de $n \times 10^{-8}$ gramme par litre. C'est-à-dire que ces eaux étaient plus riches en radium que les roches granitiques acides. Cette concentration est exceptionnelle.

Dans les sources minérales issues des roches granitiques, le lixivage des roches radioactives enrichit les eaux en radioéléments.

La radioactivité des eaux étant très étudiée (35), au point de vue physiologique et thérapeutique, nous avons entrepris d'en rechercher la présence dans les eaux thermales de Bains.

CHAPITRE II

L'ÉMANATION DE RADIUM OU RADON

Le nom d'émanation fut donné primitivement par RUTHERFORD aux gaz radioactifs provenant de la désintégration de l'atome de radium, du thorium et de l'actinium.

Ces radio-éléments sont maintenant désignés radon, thoron, actinon, pour indiquer leur parenté avec la série des gaz rares, inertes, argon, crypton, xenon.

Ils présentent, en effet, les caractères physiques des gaz. Ils ont chacun un spectre distinct, ils sont diffusibles, solubles dans l'eau et liquéfiables à basse température.

De tous les gaz radioactifs le radon est le mieux étudié parce que son atome est le plus stable. Tandis que la période de transformation du thoron et de l'actinon n'est que de quelques secondes le nombre d'atomes de radon diminue seulement de moitié en 3 jours 825.

C'est pourquoi dans nos recherches de radioactivité, le seul gaz radioactif que nous puissions trouver est le radon.

Les autres gaz, s'ils préexistent au griffon des sources, ont entièrement disparu par désintégration au moment de leur recherche.

ORIGINE DU RADON

Le radon est le premier terme de destruction de l'atome de radium. Chaque atome de radium se transforme en un atome d'émanation de radium avec émission d'une particule α , appelée aussi hélium pour rappeler qu'elle est constituée par de l'hélium chargé positivement.

Les atomes d'émanation ainsi formés se désintègrent eux aussi en radium A avec émission d'une autre particule α . Ces particules α sont expulsées à une vitesse supérieure à 20.000 kilomètres par seconde. Elles possèdent un pouvoir ionisant considérable, mais un pouvoir de pénétration presque nul. Une particule α parcourt dans l'air, à la pression atmosphérique normale, une distance d'environ 4 centimètres au bout de laquelle elle a perdu sa vitesse initiale par suite des chocs subis dans la traversée des molécules de gaz qu'elle rencontre.

Lorsque la particule α a parcouru 4 cm. 12, dans le cas de l'émanation du radium, son pouvoir ionisant devient nul par suite de la perte d'énergie cinétique. On estime à 200.000 les molécules ionisées par une particule α . Ce chiffre, faible en regard du nombre de molécules rencontrées, est limité par le coefficient de recombinaison des ions (24).

C'est précisément cette propriété d'émettre des corpuscules α , et donc d'ioniser les gaz, qui va nous permettre de caractériser le radon et d'en effectuer le dosage dans les eaux thermales.

CONSTANTE DE TRANSFORMATION DU RADON

Comme tous les corps radioactifs, le radon est caractérisé par une constante de désintégration qui lui est propre, appelée λ . Cette constante est la réciproque d'une autre constante de temps nommée vie moyenne. $T = \lambda^{-1}$.

On peut définir λ : la fraction d'émanation qui se transforme par unité de temps. Chaque seconde il disparaît environ 1/480.000 d'un volume de radon considéré (25).

Tous les atomes de radon n'ont pas la même durée de vie, mais leur rythme de destruction est tel que tous les 3 jours 825 la moitié des atomes de radon présents dans un volume donné s'est transformée en d'autres substances également radioactives.

Pratiquement au bout d'un mois la totalité du radon contenu dans une eau, s'il n'est pas régénéré par la présence d'un sel de radium, a disparu.

Voici les valeurs de la vie moyenne et du λ du radon.

$$T = 5,5 \text{ jours} = 4,7 \times 10^5 \text{ secondes.}$$

$$\lambda = 0,1825 \text{ jours}^{-1} = 2,097 \times 10^{-6} \text{ seconde.}$$

DESTRUCTION SPONTANÉE DU RADON

En appelant q_0 l'activité initiale due au radon, q l'activité au temps t et λ la constante de désintégration, nous avons $q = q_0.e^{-\lambda t}$; le terme $q_0.e^{-\lambda t}$ représente ce qui reste au temps t de l'activité initiale q_0 .

En différentiant cette expression nous obtenons :

$$\frac{dq}{dt} = \lambda q_0 e^{-\lambda t} = -\lambda q$$

On peut représenter graphiquement cette perte d'activité dont la courbe rappelle celle de l'expression générale: $y = be^{-at}$ dans laquelle :

t représente une variable de temps.

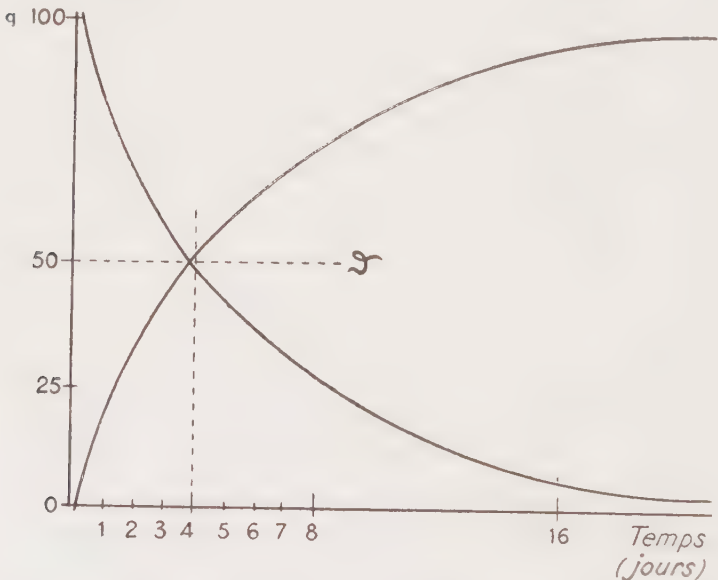
a une constante.

e la base des logarithmes Neperiens.

b la valeur initiale dont on suit la décroissance.

Le coefficient différentiel $\frac{dq}{dt}$ donne l'inclinaison

de la courbe.



Le graphique ci-dessus, de croissance et de décroissance de l'activité du radon, indique que ces deux courbes sont complémentaires.

La courbe d'accumulation et la courbe de destruction de l'émanation de radium étant complémentaires, la période δ peut être déterminée par l'examen de l'une ou l'autre de ces courbes.

ACCUMULATION DU RADON

Lorsque les atomes de radium se transforment en radon, on constate qu'il se produit avec le temps une accumulation du radon aux dépens des atomes de radium. Mais, par suite de la désintégration du radon, il s'établit à un certain moment un état d'équilibre entre la production et la destruction du radon. C'est ce que l'on appelle l'équilibre radioactif.

D'après les mesures de Pierre CURIE et M^{me} CURIE, un gramme de sel de radium en dissolution a dégagé :

0,3 millimètre-cube de radon après quatre jours ;

0,45 millimètre-cube de radon après huit jours ;

0,6 millimètre-cube de radon après un mois.

A partir de ce temps, il n'y a plus accumulation. Cette quantité de 0,6 millimètre-cube est appelée : la quantité de radon en équilibre avec un gramme de radium. La quantité de radon détruite est égale à la quantité de radon produite par unité de temps.

On a choisi justement comme unité de mesure cette quantité d'émanation et on lui a donné le nom de curie.

Un curie est la quantité de radon en équilibre avec un gramme de radium pur. Cette quantité de radon

occupe à 0°/760 un volume de 0,6 millimètre cube. Un curie contient $1,77 \times 10^{16}$ atomes de radon.

Cette unité est, en hydrologie, beaucoup trop grande pour évaluer les quantités de radon trouvées; aussi utilisons-nous des unités plus petites:

Le millicurie vaut: 10^{-3} curie ou 1/millième;

Le microcurie vaut: 10^{-6} curie ou 1/millionième;

Le millimicrocurie vaut: 10^{-9} curie ou 1/milliardième.

Cette dernière unité, le millimicrocurie sert pour évaluer la quantité de radon présente dans les eaux et les gaz thermaux.

M. BROCHET, dans ses études sur la radioactivité des eaux raporte les résultats, non pas seulement à la quantité de radon trouvée par litre d'eau, mais à la quantité d'émanation rejetée en une heure par une source radioactive. Cette valeur a reçu le nom d'hororadioactivité. On l'obtient en faisant le produit du débit horaire de la source par la quantité de radon dosée par litre d'eau [36].

Hororadioactivité: Débit horaire $\times$ Radon par litre d'eau.

Le nom de puissance radioactive d'une source indique la quantité de radium élément nécessairement en contact avec l'eau à laquelle il cède le radon. La puissance radioactive est exprimée en milligramme de radium. Cette quantité est établie, sachant qu'un milligramme de radium produit en une heure 7.500 millimicrocuries de radon:

$$P = \frac{\text{Hororadioactivité}}{7.500} = \frac{D \times R}{7.500}$$

RADIOACTIVITÉ INDUITE

La désintégration d'un atome de radon se fait avec perte d'une particule α et production d'une substance qui se dépose sur les objets mis en contact avec le gaz. On constate que ce dépôt présente, lui aussi, une radioactivité. On lui donne le nom de radioactivité induite. Ce nom dissimule une succession de corps radioactifs qui, par désintégration successive de leur atome, donnent finalement le radium G.

Cette activité complexe est donc due à la présence de plusieurs termes de désintégration : les radiums A, B et C.

Le radium A disparaît rapidement ; sa période étant seulement de 3 minutes, après une durée de 20 à 30 minutes il a pratiquement disparu. Il ne reste plus que les radiums B et C.

Quatre heures après le début de la désactivation la période du rayonnement est d'environ 28 minutes, et tend vers 26 minutes, 6 heures après le début de la désactivation.

On peut mettre en évidence cette radioactivité induite, après avoir chassé le radon d'un appareil de mesures. On attend alors 20 minutes que l'activité due à la présence de radium A ait disparu, puis on fait des mesures.

Voici un exemple de mesures exécutées sur la radioactivité induite formée dans un appareil de mesures aux dépens du radon provenant des gaz spontanés de la Source Saint-Colomban :

époque	Nombre de divisions parcourues	Temps
22 heures	120 - 80	1'2"
22 h. 45	120 - 80	2'2"
23 h. 30	110 - 90	2'3"

On constate que la vitesse de chute de la feuille d'aluminium sous l'influence de la radioactivité induite diminue de moitié toutes les 45 minutes.

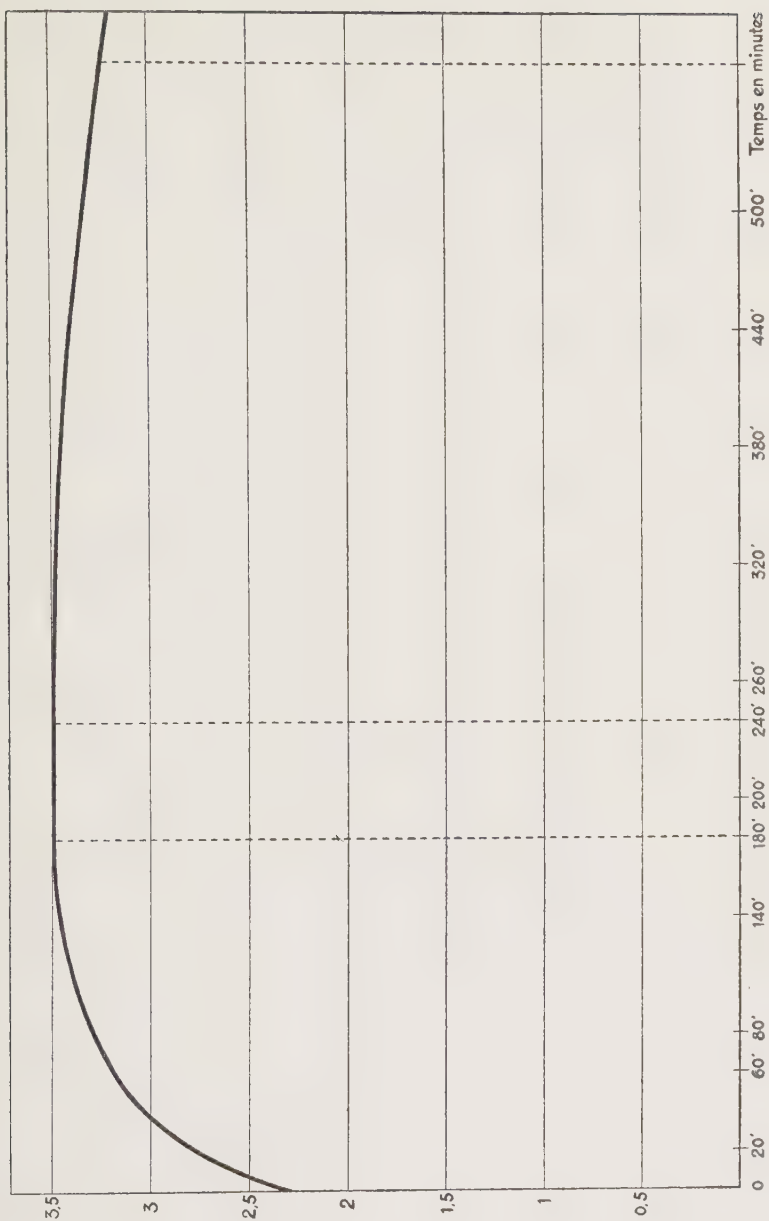
Les autres termes de désintégration, radium D et E ont une période très longue et ne peuvent être décelés qu'en opérant sur des quantités importantes de radon et après des temps d'expérience très longs.

Comme nous l'avons indiqué précédemment, cette radioactivité induite disparaît rapidement dans le cas du radon et devient pratiquement nulle huit heures après le début de la désactivation, alors que la radioactivité induite du thoron et de l'actinium persiste plusieurs jours.

CARACTÉRISATION DU RADON DANS UNE EAU MINÉRALE

Pour caractériser le radon dans une eau, il suffit de prélever, au même moment, deux échantillons d'eau d'une même source et de les analyser à 92 heures d'intervalle. On sait en effet que la période de désintégration du radon est de 3 jours 825, c'est-à-dire que si le radon n'est pas régénéré par la présence en dissolution d'un sel de radium, le nombre de ses atomes aura diminué de moitié. On trouvera donc une quantité de radon évaluée en millimicrocurie moitié moindre dans l'échantillon d'eau analysé environ quatre jours plus tard.

Vitesse
de chute
de la feuille
de
l'électromètre



Comme l'eau contenant du radon renferme également d'autres produits de désintégration qui sont eux aussi radioactifs, on sépare le gaz radioactif par ébullition. On l'introduit dans un cylindre de mesures et on étudie sa courbe d'activité.

Cette courbe d'activité montre que l'activité augmente rapidement pendant la première heure, puis plus lentement pour atteindre un maximum après trois heures. Ce maximum d'activité dure environ une heure; puis l'activité décroît lentement pour redevenir voisine de celle du début.

A titre d'exemple, nous donnons ci-dessous le résultat des mesures effectuées sur les gaz spontanés radioactifs prélevés au griffon de la Source Saint-Colomban .

EXEMPLE DE MESURE :
GAZ DE LA SOURCE SAINT-COLOMBAN

SOURCE SAINT-COLOMBAN

Prélèvement du 7 juin à 15 h. + 20'.

Analyse du 12 juin 1934 à 12 h. + 35'.

Volume: 480 cc. $H = 750$.

Température: 19°.

Age du gaz: 4 jours + 21 h. + 40'.

Coefficient de désintégration = 0,412.

$V_0/760 = 423$ cc. 36.

$V-F = 8,006$.

Coefficient de fuite du cylindre: 0,0052.

Nombre de divisions parcourues: 200.

Epoque d'introduction des gaz radioactifs dans le cylindre de mesures		Temps mis par la feuille d'aluminium à parcourir 200 divisions
12 juin	12 h. 40'	
	12 h. 42'	1' 24"
	12 h. 45'	1' 21"
	12 h. 51'	1' 19'' ₂
	12 h. 53'	1' 15"
	13 h. 15'	1' 6"
	13 h. 45'	1' 1'' ₄
	14 h. 20'	57"
	15 h.	56'' ₈
	15 h. 27'	56'' ₂
	16 h. 40'	56"
	17 h.	57"
	17 h. 20'	58"
	19 h. 45'	60"
	22 h. 15'	61'' ₈
	23 h. 45'	63"
13 juin	8 h. 30'	70"
	19 h. 30'	1' 20"
	21 h. 30'	1' 21'' ₅

Donc, après 32 h. 50 de présence de l'émanation dans le cylindre, l'activité est revenue semblable à l'activité initiale.

L'étude de la courbe d'activité d'un gaz radioactif peut donc, comme l'étude de sa radioactivité induite, servir à le caractériser.

CHAPITRE III

MESURE DU RADON

Pour doser le radon, contenu dans les eaux minérales de Bains, nous avons utilisé la méthode électroscopique (26).

Voici le principe de cette méthode: on introduit le gaz radioactif extrait des eaux par ébullition dans un cylindre métallique, dont les parois sont au potentiel zéro du sol. Dans ce gaz plonge une électrode cylindrique, convenablement isolée, portée à un potentiel suffisant pour créer un courant d'ionisation de saturation, c'est-à-dire pour que tous les ions, suivant leur signe, soient orientés vers les parois du récipient ou sur l'électrode centrale. Cette électrode est elle-même reliée à un électroscope à feuille d'aluminium.

Le courant d'ionisation qui s'établit, a une intensité proportionnelle au nombre d'ions produits par unité de temps et à la quantité d'émanation contenue dans le volume de gaz considéré.

La vitesse de chute de la feuille d'aluminium est également proportionnelle à la variation de potentiel du système électrostatique et par conséquent à la quantité de gaz radioactifs présents dans le cylindre.

La méthode électroscopique consiste donc à déterminer la vitesse de chute de la feuille d'aluminium, en fonction du temps; en la comparant à la vitesse de chute produite par une quantité connue de substance radioactive prise comme étalon.

On utilise en hydrologie le plus souvent l'appareil de Pierre CURIE, modifié par CHENEVEAU et A. LABORDE. Il se compose d'un électroscope, d'une petite chambre d'ionisation et d'un cylindre de déperdition. On utilise pour étalon radioactif l'oxyde noir d'urane.

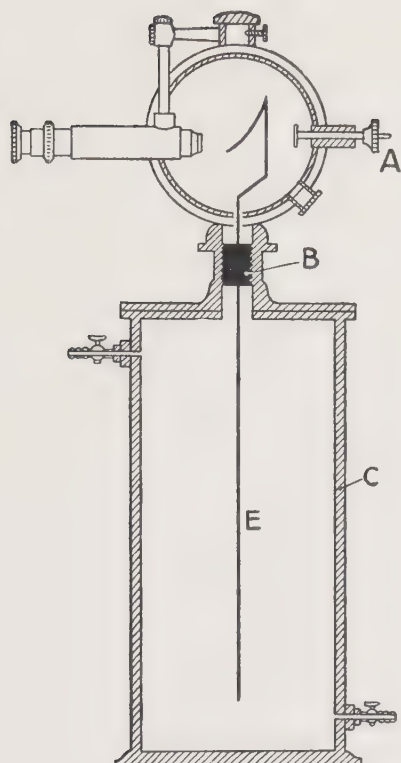
DESCRIPTION DE L'ELECTROSCOPE

Une cage métallique nickelée, ronde, limitée par deux plaques de verre grillagées dans leur partie intérieure, contient, isolée par un collier d'ambre, une tige métallique portant la feuille d'aluminium.

A cette tige métallique on peut adjoindre suivant les recherches effectuées une petite électrode qui sert pour les mesures utilisant la petite chambre d'ionisation, ou une grande électrode servant pour les mesures effectuées dans le cylindre.

Un petit microscope à micromètre oculaire, dont l'échelle est divisée en 200 divisions, permet d'apprécier la distance parcourue par la chute de la feuille d'aluminium dans un temps donné.

Une petite boule de verre, dans laquelle on place de l'anhydride phosphorique, peut être vissée à la cage de l'électroscope. Enfin, une tige directrice coulissante sert à assurer la fixité de la feuille d'aluminium durant le transport de l'appareil.



Electroscope de CHENEVEAU et LABORDE
monté sur le cylindre de mesure.

- A — électroscope à feuille d'aluminium avec micromètre.
- B — Bague d'ambre, isolant l'électroscope du cylindre.
- C — Cylindre dans lequel sont introduits les gaz à analyser.
- E — Electrode plongeur dans ce cylindre.

DESCRIPTION DE LA PETITE CHAMBRE D'IONISATION

La petite chambre d'ionisation est formée d'une cage cylindrique en métal, limitée vers le haut par un pas de vis qui porte l'électroscope muni de sa petite électrode. Une partie mobile supporte un plateau qui permet l'introduction d'un disque, recouvert d'oxyde d'urane, utilisé comme étalon.

L'ionisation produite par l'oxyde d'urane, et mesurée par l'appareil est fonction de la distance du plateau à l'électrode (1). C'est pourquoi il importe beaucoup de préciser à quelle distance on opère. De faibles variations de distance entre la petite électrode et la surface du plateau d'exposition se traduisent par des variations importantes de vitesse de chute de la feuille. Comme cette distance ne peut être rigoureusement fixée à une même valeur pour tous les appareils, il importe de faire une correction, afin de rendre les résultats obtenus avec divers appareils comparables entre eux, et comparables à un appareil de référence, qui est celui de M. LEPAPE à l'Institut d'Hydrologie au Collège de France.

DESCRIPTION DU CYLINDRE DE DÉPERDITION

Cette chambre d'ionisation est destinée à recevoir les gaz radioactifs. Elle est formée d'un cylindre de cuivre nickelé, de dimensions déterminées, surmontée

(1) Le champ d'ionisation varie d'intensité suivant l'éloignement de l'électrode, par suite de la faible distance parcourue dans l'air par les particules α .

également d'un col à pas de vis qui sert à porter l'électroscope et la grande électrode.

Deux robinets permettent de mettre ce cylindre en relation avec une pompe à vide, ou une tuyauterie d'amenée des gaz.

Son volume est de trois litres par construction. Les mesures ont été données par M^{me} CURIE, et la capacité électrostatique de cet appareil est connue.

SUBSTANCE RADIOACTIVE ÉTALON

La substance radioactive étalon utilisée pour les mesures relatives ne doit pas dégager d'émanation, ni émettre de radiations pénétrantes. Son activité doit être variable.

On utilise pour cela l'oxyde noir d'urane U^2O^5 bien exempt de radium, pulvérisé finement. Il émet des radiations.

A. LABORDE a déterminé expérimentalement que cette substance radioactive, disposée en couche mince et continue sur un disque métallique ayant exactement 6 cm. de diamètre, provoquait la décharge de l'électroscope, c'est-à-dire la chute de la feuille d'aluminium aussi vite que le ferait une quantité d'émanation égale à 22,02 millimicrocuries, à son équilibre radioactif, introduite dans le cylindre de trois litres.

On observe le passage de la feuille d'aluminium devant les graduations de l'échelle micrométrique en notant le temps mis par la feuille à les parcourir.

$$V = \frac{\text{Nombre de divisions parcourues}}{\text{Nombre de minutes ou secondes}} = \frac{e}{t}$$

Voici un exemple de mesure de la valeur de V effectué avec l'appareil qui nous a servi dans nos dosages de radioactivité (appareil n° 304 de la Faculté de Pharmacie de Nancy).

Divisions parcourues	Temps en secondes
—	—
200	23''6
200	23''8
200	23''9
200	23''5
200	23''6
	—————
	118''4

On répète cette expérience plusieurs fois, et on note les moyennes :

$$\frac{118,4}{5} = 23,7 \qquad \frac{200}{23,7} = 8,4$$

A vrai dire, ce nombre : 8,4 n'est pas rigoureusement invariable de même que la fuite spontanée de l'appareil présente des variations journalières. Cependant les variations pour un même échantillon d'oxyde d'urane sont très faibles.

Voici les chiffres extrêmes obtenus pendant nos expériences :

Moyenne de nos mesures d'étalonnage

A Paris	8,420
A Nancy	8,48
A Bains	8,650

La cause de cette légère variation n'est pas connue. Pour cette raison il faut reprendre le chiffre de l'oxyde d'urane à chaque mesure. Quand on fait une série de mesures, durant un jour ou deux, il n'est pas nécessaire de reprendre la vitesse de chute de la feuille sous l'influence de l'oxyde d'urane.

La distance de propagation dans l'atmosphère des rayons α émis par l'oxyde d'urane est de 3 à 4 cm. C'est pour cette raison que la petite chambre d'ionisation des appareils de CHENEVEAU et LABORDE, construite pour se servir des disques d'oxyde d'urane, présente un écartement de cet ordre entre l'extrémité de l'électrode et la surface du disque étalon d'oxyde d'urane.

Dans l'espace d'une petite chambre ainsi construite, les rayons, en parcourant l'air, produisent une ionisation intense. Dans le champ électrique produit, les ions, en se portant sur l'électrode, déchargent l'électroscope.

MESURES DE LA FUITE SPONTANÉE

Si nous chargeons l'électroscope, placé sur une des chambres d'ionisation, munie de son électrode, nous constatons que la déviation de la feuille d'aluminium,

visée dans l'oculaire, varie en quelques minutes d'une ou plusieurs divisions. Les appareils sensibles et bien isolés donnent des déviations très faibles mais appréciables, et que nous ne pouvons pas éviter. Comme exemple, nous citerons celles obtenues avec l'appareil n° 304 du Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Nancy, dont nous nous sommes servis pour notre travail.

10 heures du matin.....	80
10 h. 15	85
10 h. 30	89
10 h. 45	94
11 heures	98

Les chiffres ci-dessus montrent que pendant 1 heure, la feuille a parcouru 18 divisions.

La vitesse de chute de la feuille d'aluminium est donnée par le quotient :

$$V = \frac{c}{t} \frac{18}{3.600} = 0,005$$

Avec l'appareil n° 304 à Paris et à Nancy nous avons toujours obtenu des fuites spontanées comprises entre 0.0038 et 0.0055.

A Bains, au voisinage des sources, où l'ionisation de l'air est plus forte, nous avons toujours eu des coefficients de fuite spontanée supérieure.

DÉTERMINATION DE LA FUITE SPONTANÉE

Electroscope, à Nancy	0,0044
Petite chambre d'ionisation, à Bains (Grand Hôtel). ..	0,007
Petite électrode, 2 ^e étage établissement thermal.....	0,014
Electroscope, à Nancy	0,0056
Cylindre de trois litres, à Bains (Grand Hôtel)	0,010
Grande électrode, 2 ^e étage établissement thermal....	0,020

Plusieurs causes détruisent l'équilibre électrostatique et provoquent ainsi la fuite spontanée de l'appareil :

- 1° Le rayonnement cosmique pénétrant ;
- 2° Les radiations radioactives d'origine terrestres ou atmosphérique ;
- 3° Les eaux de pluies (24).

On estime que la recherche d'un corps radioactif est positive si la vitesse de chute de la feuille de l'électroscope, qu'il détermine est plus de deux fois celle de la fuite spontanée de l'appareil.

$$V - f > 2 f$$

Les déterminations de fuite spontanée rapportées ci-dessus montrent qu'à Bains, et surtout au voisinage des sources, l'air atmosphérique est fortement ionisé par les dégagements de gaz radioactifs. Pendant tout le mois d'août, nous avons travaillé à Bains avec des coefficients de fuite spontanée beaucoup plus importants que partout ailleurs,

MESURES DU COEFFICIENT DE CORRECTION K

L'expérience a montré que les appareils de CHENEVEAU et LABORDE, construits pour être en équilibre avec 22,02 millimicrocuries d'émanation de radium, n'avaient pas toujours cette constante. En examinant une douzaine d'appareils, M. A. LEPAPE a constaté que les chiffres obtenus variaient entre 21 et 23 millimicrocuries d'émanation.

Afin d'obtenir des chiffres comparables aux résultats publiés par d'autres expérimentateurs et en particulier aux travaux exécutés au Laboratoire de l'Institut d'Hydrologie du Collège de France par MM. LEPAPE et GESLIN, nous avons exécuté, avec leur appui bienveillant et leurs précieux conseils, plusieurs séries de mesures. Nous avons utilisé l'appareil n° 304 du Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Nancy, qui nous a servi dans nos recherches sur les eaux de Bains.

En utilisant successivement notre oxyde d'urane et l'oxyde d'urane étalon de ce Laboratoire, nous avons obtenu à la suite d'une série de mesures le rapport :

$$\frac{\text{Oxyde M}}{\text{Oxyde étalon}} = 1,02 \pm 0,006$$

D'autres séries de mesures furent exécutées avec le même électroscope, monté sur le cylindre d'ionisation, muni de son électrode, et, ensuite, sur le cylindre référence avec l'électrode référence. Nous avons utilisé comme source de radon des ballons contenant une quantité connue de sels de radium en dissolution

dans l'eau et dont on avait laissé s'accumuler l'émanation pendant 18 h. 30.

Ces mesures nous ont donné le rapport :

$$\frac{\text{Cyl. n}^{\circ} 304}{\text{Cyl. référence}} = 0,994 \pm 0,002$$

la constante K de l'appareil n° 304 devient ainsi corrigée :

$$22,02 \times 1,02 \times 0,994 = 22,3 \pm 0,2$$

l'erreur relative étant de l'ordre de 1 %.

PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS D'EAU ET EXTRACTION DU RADON

On se sert d'un ballon pyrex d'un litre à fond rond ou plat dont l'orifice est muni d'un bouchon de caoutchouc percé de deux trous, dans lesquels on fait passer deux tubes de verre, différents de diamètre et de longueur.

Un tube long plonge au fond du ballon, et assure le barbotage de l'air dans l'eau analysée. Un autre tube plus gros et plus court, ayant le même diamètre que le tube de verre du réfrigérant, taillé en biseau, assure un bon écoulement de l'eau qui retombe du réfrigérant à reflux.

Il est bon de ne pas donner à ce tube de verre un diamètre d'ouverture inférieur à 12 millimètres.

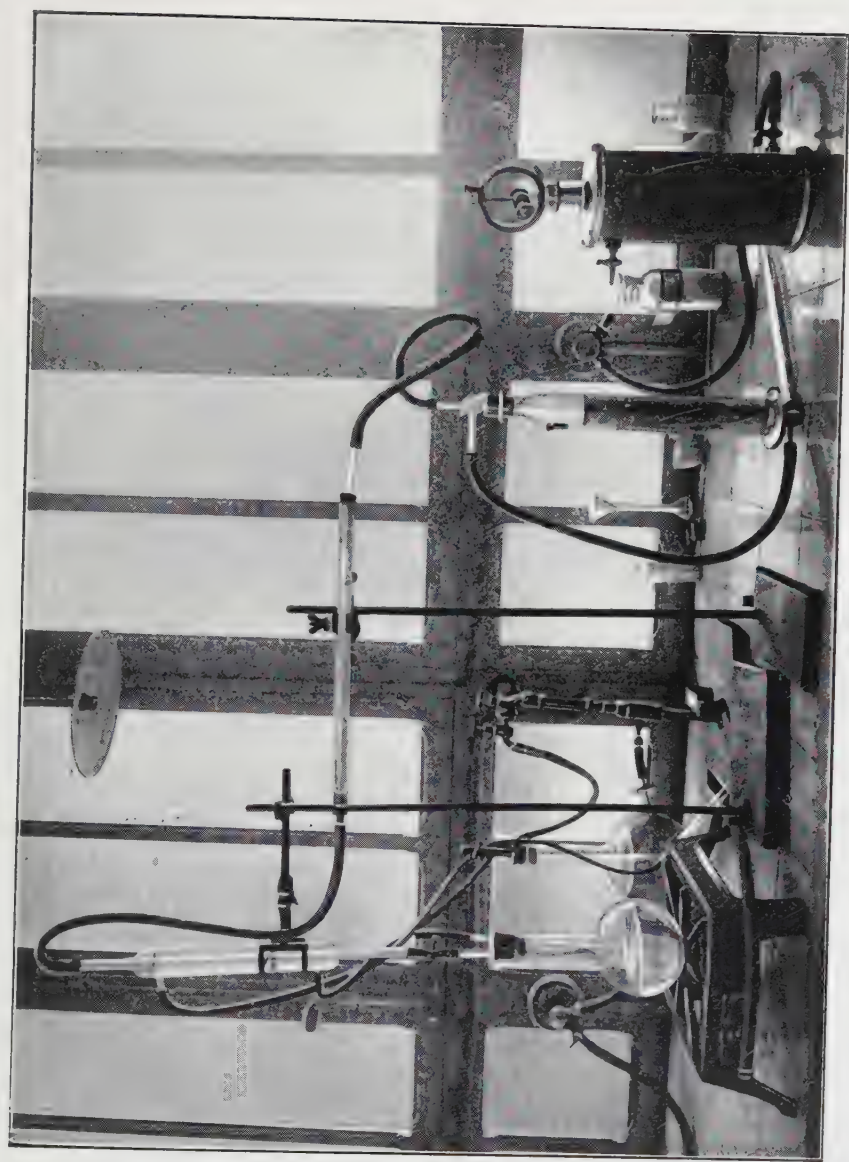
Chacun de ces tubes est muni d'un caoutchouc à parois épaisses, ainsi que d'une pince à fermeture vissée. Pour empêcher toute perte possible, on adjoint

à la partie terminale du tube en caoutchouc restée libre, une baguette de verre plein qui sera introduite à frottement dur dans le caoutchouc et assurera un surcroît d'étanchéité à l'appareil. Puis on fait le vide dans le ballon, afin de produire, lorsqu'on place le ballon dans l'eau du griffon de la source thermale, une aspiration d'eau qui remplit le ballon, et empêche le barbotage de l'eau avec l'air.

Il ne nous a pas toujours été possible de réaliser parfaitement cette dernière condition à cause de la profondeur de l'émergence de certaines sources. Cependant, nous avons toujours évité de faire nos prélèvements au contact de l'air, dans des tuyauteries mal remplies.

Il est difficile lorsque la source rejette des gaz abondamment, d'éviter l'introduction de quelques petites bulles de gaz, en même temps que l'eau thermale.

Le ballon une fois rempli, plus ou moins complètement suivant le degré de vide, on serre la pince du tube de caoutchouc qui a servi à l'introduction de l'eau, et on ferme aussi hermétiquement que possible en introduisant dans le tube de caoutchouc une baguette de verre plein à frottement dur. On note de suite l'heure du prélèvement afin de tenir compte ultérieurement de la désintégration du radon. On transporte le ballon au laboratoire et on procède aussitôt que possible à l'extraction de l'émanation.



Appareil utilisé pour extraire le radon des eaux thermales de Bains.

MONTAGE DE L'APPAREIL D'EXTRACTION

Le ballon de verre qui contient l'eau à analyser est mis en relation avec un réfrigérant à reflux. Ce réfrigérant est relié par un tube de caoutchouc à parois épaisses avec un tube de verre contenant du coton de verre et de l'anhydride phosphorique. L'extrémité de ce tube, restée libre, est reliée à un tube de caoutchouc et à un robinet à trois voies qui surmonte une cloche de verre baignant dans le mercure (1). Cette cloche est destinée à recevoir les gaz qui s'échappent du ballon chauffé à l'ébullition. Une fois que les gaz ont rempli cette cloche, on la met en communication avec le cylindre de mesure. Il faut opérer la manœuvre du robinet avec précaution pour empêcher toute perte de gaz ou de mercure.

CALCUL DE LA RADIOACTIVITÉ D'UNE EAU

Le rapport de vitesse de chute de la feuille de l'électroscope sous l'influence du gaz ionisant et sous l'influence du disque étalon d'oxyde d'urane représente la quantité d'émanation contenue dans l'eau examinée. Ce chiffre est corrigé et rendu comparable à d'autres résultats en introduisant dans ce rapport le coefficient d'étalonnage de l'appareil.

$$R_n = 22,3 \cdot \frac{v - f}{V - F}$$

(1) Une fois les gaz introduits dans le cylindre, on note l'heure moyenne d'introduction, et on commence les lectures de vitesse de décharge de l'électroscope.

V et v représentent la vitesse de chute de la feuille sous l'influence du radon et du disque étalon. On l'exprime en divisions parcourues par seconde.

f et F sont deux variables qui dépendent de la fuite spontanée de l'électroscope et du cylindre de mesures.

K est la constante d'étalonnage de l'appareil.

CORRECTIONS A INTRODUIRE DANS CETTE FORMULE

- 1° Correction due à l'âge du gaz ;
- 2° Correction due à la pression atmosphérique ;
- 3° Correction due au gaz carbonique.

CORRECTION DUE A L'ÂGE DU GAZ

Par suite du phénomène de désintégration, l'émanation disparaît peu à peu, en diminuant de moitié en 3 jours 825. Il faut donc dans le calcul des mesures introduire une correction due à l'âge du gaz radioactif. Cette correction est appelée correction α .

Ne connaissant pas, avec certitude, à quelle profondeur les eaux se chargent en émanation dans le sous-sol on note le temps écoulé entre le moment de l'analyse et l'heure du prélèvement fait au griffon des sources.

Nous donnons les valeurs du facteur de destruction du radon $e^{-\lambda t}$ dans le tableau ci-contre emprunté au traité de radioactivité de M^{me} CURIE [24].

COEFFICIENTS DE DESTRUCTION DU RADON
POUR DIFFÉRENTES VALEURS DU TEMPS t

t	$e^{-\lambda t}$	$\lg e^{-\lambda t}$	t	$e^{-\lambda t}$	$\lg e^{-\lambda t}$
0 min.	1.0000	0.00000	4 jours	0.4844	1.68520
5 »	0.9994	1.99973	5 »	4041	60649
10 »	9987	99945	6 »	3371	52779
15 »	9981	99918	7 »	28125	44909
20 »	9975	99891	8 »	2346	37039
25 »	9968	99863	9 »	19575	29169
30 »	9962	99836	10 »	1633	21299
35 »	9956	99809	11 »	1362	13429
40 »	9950	99781	12 »	11365	05559
45 »	9943	99754	13 »	0948	2.97689
50 »	9937	99727	14 »	0791	89819
55 »	0931	99699	15 »	0660	81948
1 h.	9925	99672	16 »	05505	74078
2 »	9850	99344	17 »	0459	66208
3 »	8776	99016	19 »	0383	58338
4 »	9702	98688	19 »	0320	50468
5 »	9629	98360	20 »	0267	42598
6 »	9557	98032	21 »	02225	34728
7 »	9485	97705	22 »	0186	26858
8 »	9414	97377	23 »	0155	18988
9 »	9343	97049	24 »	0129	11118
10 »	9273	96721	25 »	0108	03247
11 »	9203	96393	26 »	0090	3.95377
12 »	9134	96065	27 »	00750	87507
13 »	9065	95737	28 »	00626	79637
14 »	8997	95409	29 »	00522	71767
15 »	8929	95081	30 »	00436	63897
16 »	8862	94753	31 »	00363	56027
17 »	8785	94425	32 »	00302	48157
18 »	8729	94097	33 »	00253	40287
19 »	8664	93770	34 »	00211	32417
20 »	8598	93442	35 »	00176	24546
21 »	8534	93114	36 »	00147	16676
22 »	8470	92786	37 »	00123	08806
23 »	8406	92458	38 »	00102	00936
1 jour	8343	92130	39 »	00085	4.93066
2 jours	6960	84260	40 »	00071	85196
3 »	5806	76390			
3,825	5000	69897	∞	00000	∞

CORRECTION DUE A LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

Lorsque l'on procède à l'introduction des gaz dans le cylindre de déperdition, la cloche à mercure est en contact avec la pression atmosphérique du lieu d'expérience. Le cylindre sera donc rempli de gaz à examiner à cette même pression, la seule qui puisse être mesurée.

Or, le coefficient de diffusion des ions et la vitesse de déplacement des particules α expulsées par désintégration, varient avec la pression atmosphérique. Il convient donc, comme l'a indiqué M. LEPAPE, de corriger les différences de pression observées, et de ramener cette pression à la valeur normalement admise de 760 mm. de mercure.

Dans la formule qui sert à évaluer la valeur de la radioactivité mesurée, on désigne d'ordinaire cette correction par β .

Cette correction β n'est importante que pour des pressions atmosphériques inférieures ou égales à 720 mm. de mercure. Au-dessus de cette valeur, on peut négliger, sans erreur importante, cette correction :

H	β
—	—
760	1,000
750	0,999
740	0,998
740	0,996
720	0,994

Nous avons observé durant notre séjour à Bains la hauteur de la pression atmosphérique. Elle s'est constamment maintenue entre 734 et 738 millimètres de mercure pendant le mois d'août 1933. La valeur à apporter en correction à nos résultats est donc faible, et peut être négligée.

CORRECTION DUE A LA PRÉSENCE DU GAZ CARBONIQUE DANS LE CYLINDRE DE MESURE

M. A. LEPAPE a montré que la présence du gaz carbonique, dans les gaz modifiait la valeur de l'ionisation. Il est donc important de faire une correction.

Nous avons évité cette correction en introduisant dans le ballon un fragment de pastille de soude caustique qui, en alcalinisant le milieu, fixe le gaz carbonique libre, ou facilement libérale.

La quantité moyenne de CO^2 contenue dans un litre d'eau thermale de Bains est de 20 cc. environ.

On désigne par γ la valeur de cette correction :

$$\gamma = \frac{\text{Vitesse de décharge dans l'air sec}}{\text{V de décharge } (\text{CO}^2 + \text{Air sec})}$$

Cette correction est surtout importante lorsque les gaz extraits par ébullition contiennent plus de 100 cc. de gaz carbonique par litre.

La formule qui permet de calculer la teneur en émanation d'un gaz, devient, si nous avons opéré le dosage sur un litre d'eau :

$$R_n = 22,3 \cdot \frac{v-f}{V-F} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{\beta} \cdot \frac{1}{\gamma}$$

Cette méthode que nous venons de décrire, et que nous avons étudiée avec M. le Professeur GRELOT et M. Adolphe LEPAPE nous a servi pour rechercher la présence d'émanation de radium dans les eaux thermales de Bains.

Une eau minérale, même thermale, n'est pas forcément radioactive. La radioactivité dépend des terrains traversés. Beaucoup de stations connues ne sont pas, ou sont très peu radioactives: Bagnoles-de-l'Orne, Contrexéville, Châtel-Guyon, Evian, Pougues, Vittel, pour n'en citer que quelques-unes.

D'autres le sont au contraire beaucoup: Bagnères-de-Luchon, La Bourboule, Luxeuil, Plombières, etc... Nous avons cherché, dans cette étude, à déterminer dans quelle catégorie nous devons placer Bains-les-Bains.

CHAPITRE IV

RADIOACTIVITÉ DES EAUX MINÉRALES DE BAINS

Nous examinerons successivement dans cette étude la radioactivité des eaux et la radioactivité des gaz spontanés des sources appartenant à la Société Thermale.

Radioactivité des eaux

Nous groupons l'étude des sources suivant la position de leur captage en trois catégories :

- 1° Sources du Bain Romain ;
- 2° Sources du Bain de la Promenade ;
- 3° Sources froides du Parc.

I. — SOURCES DU BAIN ROMAIN

Ces sources sont au nombre de huit. Toutes sont captées et utilisées dans un but thérapeutique par la Société Thermale.

Source Saint-Colomban

A cause de la profondeur de son puits de captage et de sa température élevée, les prélèvements d'eau

suivant la méthode indiquée ne sont pas faciles à effectuer. Nous avons fait plusieurs dosages à des époques différentes afin de suivre les variations possibles de la radioactivité. La teneur en radon de cette eau est faible en regard des autres sources de la station; mais on ne doit pas oublier que le coefficient de solubilité du radon diminue avec l'augmentation de la température. Cependant, le débit important de cette source, qui alimente à la fois les buvettes et l'embouteillage, fait qu'elle déverse dans l'atmosphère une quantité de radon très importante:

Température	50 à 51°
Radioactivité à l'émergence..	$5,50 \times 10^{-9}$ curies par litre d'eau
Hororadioactivité	$29,70 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	3,96 milligrammes de radium

Source Romaine

Cette source présente une température inférieure à celle de la source Saint-Colomban, mais des constantes physiques très voisines.

On peut attribuer la différence de température de cette source à son faible débit.

Température	41°5
Radioactivité à l'émergence..	$5,60 \times 10^{-9}$ curies par litre d'eau
Hororadioactivité	$1,92 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	0,25 milligramme de radium

Source Robinet de Cuivre

Cette source, qui présente une thermalité élevée, a son captage établi sous une dalle de la piscine centrale des Bains Romains.

Sa radioactivité est stable; une seule mesure, août 1933, nous a donné un chiffre assez différent des autres.

Emission de gaz abondante, mais très irrégulière.

Température	47°
Radioactivité à l'émergence..	$7,50 \times 10^{-9}$ curies par litre d'eau
Hororadioactivité	$6,57 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	0,86 milligramme de radium

Source Robinet de Fer

La commodité que présente ce captage nous a permis de faire des prélèvements plus nombreux. Tous ont donné des chiffres voisins. Les différences, bien que peu accentuées, dépassent cependant les erreurs d'expérience. Cette observation est valable pour toutes les sources examinées.

Emission abondante et régulière de gaz spontanés.

Température	48°5
Radioactivité à l'émergence	$7,5 \times 10^{-9}$ curies
Hororadioactivité	$13,41 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	1,78 milligramme de radium

Grosse Source

Cette source coule au Bain Romain, à côté des piscines. Son débit très constant est accompagné par une émission importante de gaz spontanés. C'est la source qui donne le dégagement le plus régulier de gaz et le plus abondant.

La radioactivité de cette source est plus constante.

Radioactivité à l'émergence..	$7,2 \times 10^{-9}$ curies
Hororadioactivité	$11,37 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	1,51 milligrammes de radium

Source tempérée

Elle sort dans la partie Est du Bain Romain. Son griffon alimente un réservoir d'eau destiné à l'usage des cabines du Bain Romain.

Sa radioactivité, très voisine de celles des Robinet de Fer et de Cuivre, permet de distribuer une eau de même radioactivité dans les cabines de traitement et dans les piscines.

Radioactivité à l'émergence..	$7,0 \times 10^{-9}$ curies par litre d'eau
Hororadioactivité	$3,36 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	0.44 milligramme de radium

Source Souterraine

La Source Souterraine présente deux captages situés à quelques mètres l'un de l'autre à l'Ouest du Bain Romain.

Chaque fois que nous avons opéré un prélèvement, nous avons fermé l'un de ces captages de façon à recevoir l'eau de la source par le même griffon.

Très anciennement utilisée, cette source présente un débit important. Sa teneur en émanation de radium est déjà nettement supérieure à la Source Saint-Colomban et se rapproche beaucoup de la quantité contenue dans les eaux des Sources: Tempérée, Grosse Source, Robinet de Fer et Robinet de Cuivre.

Radioactivité à l'émergence..	$6,8 \times 10^{-9}$ curies par litre d'eau
Hororadioactivité	$6,25 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	0,86 milligramme de radium

Source de la Vache

Cette source dont le débit est faible, environ 2 l. 500 à la minute, est cependant très intéressante à étudier. Bien qu'elle sourde au Bain Romain, sa température ne dépasse pas 34° centigrades.

Sa radioactivité est nettement supérieure à celle des autres sources du même établissement. De plus, elle ne rejette pas de gaz spontanés, ce qui la distingue des autres eaux thermales:

Température	34°
Radioactivité à l'émergence..	$11,90 \times 10^{-9}$ curies
Hororadioactivité	$1,78 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	0,234 milligramme de radium

SOURCE SAINT-COLOMBAN (Bain Romain)

	Août 1933	Août 1933	Septembre 1933	Mars 1934	Avril 1934
Résistivité	2.240	2.260	2.300	2.290	2.260
Température	50°	50°2	48°	50°	50°8
Prélèvement au griffon	9 août	19 août	27 septembre	29 mars 16 h. 45	16 avril 14 heures
Analyse du	9 août	19 août	28 septembre	30 mars 21 h. 15	18 avril 12 h. 30
Volume d'eau utilisé	920 cc.	1.000 cc.	900 cc.	892 cc.	
Age du gaz	30'	30'	2 j. + 3 h. 1 j. + 4 h. 30' 1 j. + 20 h.		
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,030	0,060	0,006	0,0048	0,005
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ..	8,620	8,600	8,470	6,200	8,500
Vitesse v — f maxima due au radon (en div. par sec.).	1,886	2,20	1,415	1,18	1,3
Correction α due à l'âge du gaz	0,996	0,996	0,816	0,806	0,70
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence...	5,3	5,5	5,0	5,5	5,6

SOURCE ROBINET DE FER

	Août 1933	Février 1934	Mars 1934	Avril 1934	Juin 1934
Résistivité	2,350				
Température	48°8	48°5	48°5	48°7	48°4
Prélèvement au griffon	12 août 10 heures	7 février	29 mars 16 h. 35'	17 avril 11 heures	7 juin 3 h. 15'
Analyse du	12 août 11 heures	8 février 16 h. 20'	1 ^{er} avril 14 h. 40'	24 avril 20 h. 20'	10 juin 18 heures
Volume d'eau utilisé	902 cc.	920 cc.	758 cc.	732 cc.	800 cc.
Age du gaz	1 heure	1 j. + 6 h.	2 j. + 10'	7 j. + 9 h.	3 j. + 3 h.
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,026	0,0046	0,0042	0,0045	0,004
Vitesse (<i>V</i> — <i>F</i>) donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,60	8,400	6,06	8,190	8,00
Vitesse (<i>v</i> — <i>f</i>) maxima due au radon (en div. par sec.).	2,64	2,08	0,98	0,555	1,300
Correction α due à l'âge du gaz	0,996	0,797	0,645	0,262	0,568
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	7,4	7,4	7,3	7,7	7,7

SOURCE ROBINET DE CUIVRE (Bain Romain)

	Août 1933	Février 1934	Mars 1934	Avril 1934	Juin 1934
Résistivité	2,360	2,340	2,320	2,330	2,360
Température	47°4	47°	46°6	46°1	46°9
Prélèvement au griffon	16 août	7 février	15 mars 14 h. 20'	17 avril 11 h. 15'	7 juin 3 h. 20'
Analyse du	16 août	11 février 15 heures	18 mars	24 avril 9 h. 45'	10 juin 9 h. 20'
Volume d'eau utilisé	974 cc.	840 cc.	768 cc.	743 cc.	720 cc.
Age du gaz	1 heure	3 j. + 22. h. 6 j.	6 j. + 20h.20'	6 j. + 21h.30'	2 j. + 18 h.
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,004	0,004	0,0036	0,0045	0,0044
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,600	8,467	8,467	8,190	8,020
Vitesse <i>v</i> — <i>f</i> maxima due au radon (en div. par sec.).	2,702	1,145	1,331	0,581	1,250
Correction α due à l'âge du gaz	0,9962	0,490	0,599	0,285	0,608
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence...	7,1	7,3	7,5	7,6	7,7

GROSSE SOURCE (Bain Romain)

	Août 1933	Août 1933	Août 1932	Avril 1934	Avril 1934
	—	—	—	—	—
Résistivité	2,380	2,370	2,360	2,392	2,360
Température	46°5	46°4	46°	46°7	46°6
Prélèvement au griffon	15 août 9 h. 40'	20 août	27 août	17 avril	23 avril 8 h. 45'
Analyse du	15 août 11 heures	20 août	27 août	25 avril	2 mai 12 h. 40'
Volume d'eau utilisé	966 cc.	920 cc.	1.000 cc.	771 cc.	900 cc.
Age du gaz	1 heure	1 h. 15'	1 heure	7 j. + 21 h. 40'	4 j. + 4 h.
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,022	0,020	0,019	0,005	0,0044
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,620	8,700	8,600	8,100	8,100
Vitesse (<i>v</i> — <i>f</i>) maxima due au radon (en div. par sec.).	2,70	2,600	2,700	0,47	1,111
Correction α due à l'âge du gaz	0,992	0,992	0,992	0,239	0,470
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	7,21	7,2	7,00	7,00	7,2

SOURCE ROMAINE (Bain Romain)

	Août 1933 —	Septembre 1933 —	Mars 1934 —
Résistivité à 18°	2,310	2,300	2,315
Température	41°3	41°6	41°5
Prélèvement au griffon	4 août 14 h. 30'	10 septembre 10 h. 40'	15 mars 14 heures
Analyse du	4 août 14 h. 30'	11 septembre 14 h. 30'	16 mars 18 h. 40'
Volume d'eau utilisé	860 cc.	1,990 cc.	890 cc.
Age du gaz	1 heure	1 j. + 5 h.	1 j. + 4 h. 40'
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,007	0,0052	0,0044
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,700	8,600	8,500
Vitesse maxima v — f due au radon (en div. par sec.).	1,700	3,56	1,50
Correction α due à l'âge du gaz	0,9925	0,802	0,805
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	5,4	5,7	5,2

SOURCE DE LA VACHE (Bain Romain)

Résistivité à 18°	2,346	2,320
Température	34°5	34°7
Prélèvement au griffon	24 août 1933 18 h. 30'	17 avril 1934 11 h. 35'
Analyse du	25 août 1933 12 h. 40'	22 avril 1934 15 h. 30'
Volume d'eau utilisé	850 cc.	671 cc.
Age du gaz	18 heures	5 j. + 4 h.
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,005	0,005
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ..	8,650	8,060
Vitesse maxima due au ra- don (en div. par seconde).	3,220	1,070
Correction α due à l'âge du gaz	0,8729	0,392
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	11,98	11,17

SOURCE TEMPÉRÉE (Bain Romain)

	Septembre 1933 —	Avril 1934 —	Mai 1934 —
Résistivité	2.431	2.390	
Température	46°	45°8	46°2
Prélèvement au griffon	20 septembre 10 h. 30'	17 avril 11 h. 40'	28 mai 10 h. 45'
Analyse du	24 septembre 10 h. 30'	23 avril 9 heures	1 ^{er} juin 12 h. 35'
Volume d'eau utilisé	780 cc.	860 cc.	829 cc.
Age du gaz	3 jours	5 j. + 21 h.	2 j. 22 h. 30'
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,020	0,005	0,006
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	— 8,650	8,190	8,400
Vitesse maxima due au ra- don (en div. par seconde).	1,090	0,803	1,326
Correction α due à l'âge du gaz	0,518	0,344	0,588
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	7,0	7,5	7,20

SOURCE SOUTERRAINE (Bain Romain)

	Août 1933 —	Avril 1934 —	Juin 1934 —
Résistivité	2.430	2.450	2.460
Température	40°2	40°5	40°3
Prélèvement au griffon	8 août	17 avril 11 h. 5'	7 juin
Analyse du	8 août	23 avril 20 h. 55'	9 juin 21 h. 30'
Volume d'eau utilisé	980 cc.	712 cc.	700 cc.
Age du gaz	1 heure	6 j. + 10 h.	2 j. + 6 h.
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,008	0,0045	0,0036
Vitesse (V — F) donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,500	8,190	8,050
Vitesse ($v - f$) maxima due au radon (en div. par sec.).	2,6	0,555	1,130
Correction α due à l'âge du gaz	0,996	0,313	0,663
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	6,8	6,82	6,76

II. — SOURCES DU BAIN DE LA PROMENADE

Nous désignons ainsi les sources captées à l'Établissement des Bains de la Promenade. Leur température ne dépasse pas 41°. Elles émergent à quelques mètres les unes des autres. Leurs eaux alimentent une vaste piscine et les piscines privées de cet établissement thermal.

Source de la Promenade

Cette source est un peu éloignée des Bains. Une canalisation d'une vingtaine de mètres l'amène dans une piscine. Sa radioactivité est plus voisine des sources du Bain Romain que de celle du Bain de la Promenade.

Sa stabilité est remarquable, son débit important. Sa température, de 33°8, est très constante d'une saison à l'autre, et ne varie pas de plus de 1°.

Nous avons fait des dosages à captage découvert durant les travaux; nous avons obtenu des résultats à peu près invariables et exprimés par :

Radioactivité	7,21 $\times 10^{-9}$ curies
Hororadioactivité	45,36 $\times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	6,05 milligrammes de radium

Source Casquin

La Source Casquin est la première source qui fut captée en dehors du Bain Romain. Elle fut longtemps la seule exploitée. On la prenait en boisson. Le puits Casquin n'a pas moins de trois mètres de profondeur.

£

Au fond de ce puits jaillit la source. Aussi est-il difficile d'exécuter des prélèvements d'eau pour la recherche de la radioactivité en se plaçant toujours au même endroit du jaillissement.

Nous pensons que cette difficulté explique les quelques écarts signalés dans les dosages de radon de cette eau.

Température	38°5
Radioactivité	$10,6 \times 10^{-9}$ curies
Hororadioactivité	$26,07 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive	3,47 milligrammes de radium

Sources Fécondes n^{os} 1 et 2

Les deux Sources Fécondes sont très semblables dans leurs caractères physiques, leur radioactivité et leur composition chimique. Leur griffon, peu éloigné l'un de l'autre, quelques mètres seulement, fait penser qu'elles sont deux bras différents d'une même montée d'eau thermale. Ces sources sont les plus radioactives des sources thermales de la station.

Leur radioactivité est différente; la plus froide étant la plus riche en radon (Source Féconde n° 2):

	Source Féconde N° 1	Source Féconde N° 2
Température	41°	38°5
Radioactivité	$11,3 \times 10^{-9}$ curies	$13,8 \times 10^{-9}$ curies
Hororadioactivité	$43,36 \times 10^{-6}$ curies	$34,94 \times 10^{-6}$ curies
Puissance radioactive..	5,79 milligr. de radium	4,65 milligr. de radium

SOURCE CASQUIN (Bain de la Promenade)

	Août 1933	Septembre 1933	Mars 1934	Avril 1934
Résistivité	2,320	2,320	2,300	2,285
Température	39°	38°9	38°8	
Prélèvement au griffon	8 août 17 heures	12 septembre 10 h. 20'	23 mars 11 h. 55'	28 avril 9 heures
Analyse du	8 août 18 heures	15 septembre 10 h. 30'	25 mars 12 h. 25'	30 avril 21 h. 20'
Volume d'eau utilisé	960 cc.	502 cc.	832 cc.	864 cc.
Age du gaz	1 heure	2 j. + 10'	2 j. + 15'	2 j. + 12 h. 30'
Fuite spontanée (en division par seconde)	9,012	0,008	0,005	0,005
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,500	8,460	5,840	8,400
Vitesse <i>v</i> — <i>f</i> maxima due au radon (en div. par sec.).	3,750	2,540	1,200	2,187
Correction α due à l'âge du gaz	0,992	0,695	0,694	0,633
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence...	10,30	8,56	8,40	10,60

SOURCE FÉCONDE N° 1 (Bain de la Promenade)

	Août 1933 —	Mars 1934 —	Mars 1934 —
Résistivité	2,310	2,300	2,300
Température	40°8	41°5	40°4
Prélèvement au griffon	17 août 11 heures	23 mars	29 mars 17 heures
Analyse du	17 août 12 heures	27 mars	2 avril 17 h. 40'
Volume d'eau utilisé	975 cc.	1,556 cc.	1,006 cc.
Age du gaz	1 heure	4 j. + 40'	3 j. + 17 h. 40'
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,005	0,005	0,005
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,700	6,06	5,880
Vitesse ($v - f$) maxima due au radon (en div. par sec.).	4,300	2,151	1,540
Correction α due à l'âge du gaz	0,9967	0,482	0,508
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	11,3	10,5	11,3

SOURCE FÉCONDE N° 2 (Bain de la Promenade)

	Août 1933 —	Mars 1934 —
Résistivité	2,300	2,320
Température	38°5	38°5
Prélèvement au griffon	21 août 10 heures	23 mars 11 heures
Analyse du	22 août 10 h. 40'	28 mars 14 h. 40'
Volume d'eau utilisé	1.000 cc.	781 cc.
Age du gaz	1 j. + 40'	5 jours
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,016	0,004
Vitesse (V — F) donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,560	6,060
Vitesse (<i>v</i> — <i>f</i>) maxima due au radon (en div. par sec.).	4,431	1,530
Correction α due à l'âge du gaz	0,8320	0,404
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	13,9	13,8

SOURCE DE LA PROMENADE (Bain de la Promenade)

	21 Août 1933	26 Octobre 1933	15 Novembre 1933	6 Décembre 1933
Résistivité	2,630	2,650	2,652	2,600
Température	33°8	32°8	32°4	34°
Prélèvement au griffon	10 h. 5'	14 heures	7 h. 30'	14 h. 20'
Analyse du	11 h. 5'	14 heures 28-10-33	12 h. 30' 17-11-33	17 h. 20' 10-12-33
Volume d'eau utilisé	977 cc.	900 cc.	764 cc.	814 cc.
Age du gaz	1 heure	2 jours	2 j. + 5 h.	4 j. + 5 h.
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,070	0,0062	0,0056	0,0043
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,64	8,500	8,480	8,450
Vitesse maxima <i>v</i> — <i>f</i> due au radon (en div. par sec.).	2,86	1,84	1,08	1,00
Correction α due à l'âge du gaz	0,0962	0,696	0,670	0,466
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	7,3	7,4	7,1	7,0

III. — SOURCES SAUVAGES

Nous avons tenu à ajouter à l'étude des eaux issues de la faille hydro-minérale quelques notes sur deux sources thermales sauvages de la région, sans rapport apparent avec la faille granulitique qui laisse jaillir les eaux minérales de Bains.

Ce sont la Fontaine Chaude et les Sources de la Chaudeau.

Fontaine Chaude

Dans les bois de Gruey, près du chemin des Barraques qui relie la route de Darney à Fontenoy, sourd dans un enchambrement en pierres une source artésienne chaude dont le débit n'est pas négligeable.

L'eau jaillit par des diaclases de grès vosgiens. Son griffon est formé de sable et de cailloux d'où s'échappent des bulles de gaz :

Débit aqueux	720 litres à l'heure
Débit en gaz 0°, 760	1.600 cc. environ
Radioactivité de l'eau	$3,61 \times 10^{-9}$ curies
Radioactivité des gaz	$12,70 \times 10^{-9}$ curies
Hororadioactivité de l'eau ..	$2,699 \times 10^{-6}$ curies
Hororadioactivité des gaz ..	$0,88 \times 10^{-6}$ curie
Puissance radioactive totale.	0,35 milligramme de radium

FONTAINE CHAUDE DE GRUEY

	Eau	Gaz
	—	—
Résistivité	2.060	
Température	27°	27°
Prélèvement au griffon	7 nov. 1933 14 h. 20'	7 nov. 1933 14 h. 35'
Analyse du	11 nov. 1933 14 h. 20'	10 nov. 1933 15 h. 30'
Volume d'eau utilisé	780 cc.	520 cc. V. de gaz 0°760
Age du gaz	4 jours	3 j. + 1 h.
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,0056	0,005
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,470	8,470
Vitesse maxima v — f due au radon (en div. par sec.).	0,519	1,400
Correction α due à l'âge du gaz	0,484	0,576
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	3,6	12,7

Sources de la Chaudeau

Aux environs de Bains, sur la route d'Aillevillers, lorsque la Semouze est sans eau, on peut voir sourdre, entre les blocs de grès vosgiens qui forment le lit du torrent, des petits filets d'eau accompagnés de nombreuses bulles de gaz.

Nous n'avons pu, durant notre séjour dans la région, faire des prélèvements. Nous rapportons seulement le résultat des mesures faites par M. BROCHET :

Température	22°
Débit gazeux	200 cc. en 30', soit 400 cc. en une heure
Teneur en radon de l'eau...	$6,28 \times 10^{-9}$ curies par litre d'eau
Teneur en radon des gaz...	41×10^{-9} (mesure de M. BROCHET)

En se reportant à la carte géologique de la région, on constate que les Sources de la Chaudeau sourdent le long d'une faille très importante qui met également à nu la granulite et dont la direction est parallèle à la faille hydro-minérale de Bains. Il semble donc que ces deux failles soient deux conséquences d'un même plissement et de même âge géologique.

Pour la Source Fontaine Chaude qui sort du grès vosgien, l'origine orogénique commune avec les eaux thermales de Bains est moins évidente. Cependant, si nous traçons une ligne prolongeant la faille granulitique au delà du pont du Coney et allant se perdre dans les monts de Gruey, on constate que la Fontaine Chaude est placée dans le prolongement. Il semble

naturel de penser que la faille granulitique de Bains continue sans affleurement au-dessous du grès vosgien des monts de Gruë, et que les diaclases de ce grès offrent une émergence à cette eau thermale. Les analyses confirment cette hypothèse en montrant que les constantes physiques de ces eaux sont semblables à celles des sources thermales de Bains.

IV. — SOURCES FROIDES

Nous voulons parler des eaux qui sourdent dans le Parc, en dehors des établissements de bains. Ces sources appartiennent à la Société Thermale. Elles ne sont pas captées et ne servent pas à l'usage médical.

Ce sont les trois sources suivantes : Source de la Potinière, Source du Parc, Source du Moulin. Elles émergent artésiennement de la faille granulitique.

Nous avons, de plus, examiné la radioactivité de deux eaux froides des environs de Bains. Ce sont des eaux de ruissellement qui traversent les grès vosgiens et les grès bigarrés.

Sources froides artésiennes issues de la faille granulitique

Nous avons déjà mentionné, par ailleurs, les caractères physico-chimiques de ces sources. Leur débit est variable, surtout pour la Source de la Potinière. Nous avons mesuré ce débit à l'aide d'un ballon jaugé. Voici les résultats obtenus :

Source de la Potinière	Débit variable, environ 30 litres à la minute
Source du Moulin	20 litres à la minute
Source du Parc	10 litres à la minute

La quantité de radon contenue dans les eaux est importante, comme le montre le tableau ci-contre, sauf pour la Source de la Potinière qui doit être un mélange d'eau thermale avec une eau météorique, en quantité variable suivant les saisons.

Sources provenant des terrains gréseux

Nous avons choisi deux sources froides qui, dans leur trajet souterrain, traversent les grès: la Fontaine du Million, eau de ruissellement dont le parcours souterrain intéresse les sables gréseux et les diverses assises du gré bigarré qui constituent une grande partie de la côte du Million.

L'eau de la Terre les Fers est également une eau de ruissellement. Elle traverse des grès bigarrés et des grès vosgiens sans toutefois atteindre des couches géologiques plus profondes.

Voici les résultats obtenus dans l'analyse de l'eau de la Terre les Fers:

Température	12°
Volume d'eau analysé	1.200 cc.
Prélèvement	25 août 1933
Date de l'analyse	25 août 1933
Age du gaz	Une heure
Fuite spontanée	0,014
Vitesse (V-F)(oxyde d'urane)	8,600
Vitesse (<i>v</i> - <i>f</i>) due au radon..	0,30
Correction α	0,992
Radon (en millimicrocurie par litre d'eau)	0,6

SOURCES FROIDES DES GRANULITES

	Source de la Potinière	Source du Moulin		Source du Parc
Résistivité	12,500	15,500	15,600	17,200
Température	17°6	12°	12°	11°
Prélèvement au griffon	25 août	12 juin 13 heures	13 mai 14 heures	13 mai 1934 14 h. 30'
Analyse du	25 août	14 juin 19 heures	15 mai 14 heures	14 mai 1934 12 h. 40'
Volume d'eau utilisé	1,800	1,700 cc.	1,210 cc.	1,300 cc.
Age du gaz	1 heure	2 j. + 6 h.	2 jours	22 h. 10'
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,017	0,0042	0,0044	0,0047
Vitesse « V » donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,600	8,00	8,070	8,030
Vitesse maxima due au ra- don (en div. par seconde).	1,18	5,0	4,6	5,550
Correction α due à l'âge du gaz	0,9925	0,665	0,695	0,847
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	1,7	12,30	14,0	13,8

On voit, par cette mesure, que la teneur en radon de cette eau est très faible, comparée aux eaux froides ou chaudes analysées précédemment. L'eau de la Fontaine du Million nous a donné un résultat pratiquement nul.

V. — RADON CONTENU DANS LES PISCINES ET LES RÉSERVOIRS

Nous avons exécuté plusieurs dosages du radon contenu dans les eaux des piscines de traitement. Comme ces eaux coulent à l'air libre, nous devons logiquement les voir perdre une partie de leur radon par suite du coefficient de partage du radon entre l'eau et l'air. Les sources qui alimentent les piscines contiennent en moyenne 7,5 millimicrocuries de radon par litre d'eau. Au Bain Romain où nous avons opéré ces prélèvements, nous avons constaté une disparition importante du radon en dissolution, qui s'échappe dans l'atmosphère des bains.

Le coefficient de partage entre l'eau et l'air à la température de 36° étant de $\tau = 0,176$, on peut calculer, en première approximation, qu'il doit rester par litre d'eau :

$$7,5 \times 0,176 = 1,32 \text{ millimicrocuries de radon}$$

Pour diverses raisons, et en particulier à cause de l'apport constant d'eau thermique chargée au maximum d'émanation, les dosages ont donné des résultats supérieurs à 2,0 millimicrocuries.

RADON CONTENU DANS LES PISCINES ET RÉSERVOIR
(Par litre d'eau)

	Piscine Source Tempérée —	Réservoir Source Tempérée —	Piscine Source Robinet de Fer —
Température	38°	38°	36°
Prélèvement au griffon	27 sept. 1933 10 h. 15'	20 sept. 1933 16 h. 30'	17 oct. 1933 14 h. 35'
Analyse du	29 sept. 1933 10 heures	23 sept. 1933 12 heures	20 oct. 1933 14 h. 30'
Volume d'eau utilisé	820 cc.	925 cc.	848 cc.
Age du gaz	2 jours	2 j. + 15 h. 30'	3 jours
Fuite spontanée (en division par seconde)	0,0070	0,006	0,0065
Vitesse V — F donnée par l'oxyde d'urane étalon ...	8,600	8,600	8,600
Vitesse $v-f$ maxima due au radon (en div. par sec.).	0,453	0,465	0,525
Correction α due à l'âge du gaz	0,696	0,619	0,5806
Radon, en millimicrocurie par litre, à l'émergence..	2,1	2,0	2,74

Il se dégage donc environ 5,5 millimicrocurie d'émanation dans l'atmosphère des bains aux dépens de chaque litre d'eau.

On peut évaluer à 30.000 litres par heure la quantité d'eau rejetée par les sources dans les trois piscines et les réservoirs de cet établissement de Bains.

L'atmosphère s'enrichit donc par heure, de :

$$30.000 \times 5,5 \times 10^{-9} \text{ curies}$$

soit : 165 microcurie de radon par heure.

Une partie se désintègre, aussi reste-t-il dans l'atmosphère au bout d'une heure, une quantité :

$$165.000 \times 0,9925 = 163.762 \times 10^{-9} \text{ curies}$$

Le volume d'air contenu au Bain Romain étant d'environ 5.000 m³, l'air contient donc $0,0327 \times 10^{-9}$ curie de radon par litre d'air.

Ce chiffre est une moyenne, car l'émanation est un gaz lourd, qui diffuse moins bien dans l'atmosphère que le gaz carbonique. On peut donc supposer que la partie basse de l'établissement thermal contient des quantités d'émanation encore supérieure à ce chiffre :

Radioactivité des gaz spontanés thermaux

Nous avons indiqué au début de ce travail que les sources thermales de Bains laissaient échapper à leur griffon de nombreuses bulles de gaz, auxquelles on

donne le nom de gaz spontanés pour rappeler qu'ils s'échappent naturellement à l'émergence des sources.

Certaines sources rejettent des chapelets de petites bulles gazeuses de la grosseur d'une noisette. Ce sont la Source du Robinet de Fer, la Grosse Source, la Source Souterraine, et la Source de la Promenade.

D'autres sources ne laissent échapper que de grosses bulles, à intervalles irréguliers, comme s'il y avait accumulation de gaz en un endroit de leur parcours souterrain. Ce sont les deux sources Féconde du Bain de la Promenade.

Enfin, quelques sources rejettent des bulles de différentes grosseurs suivant les instants : la Source Saint-Colomban, la Source Romaine, la Source Robinet de Cuivre.

On voit que toutes les sources thermales, sauf la Source de la Vache et la Source Casquin rejettent des gaz à leur griffon. Quant aux sources froides du Parc, aucune ne rejette de gaz spontanés.

Prélèvement des gaz spontanés

Pour éviter que les gaz spontanés ne soient mélangés à l'air atmosphérique, on introduit le col d'un ballon renversé rempli d'eau thermale dans le griffon de la source à examiner. Un entonnoir de diamètre convenable couvre la totalité du griffon et canalise les gaz qui s'amassent dans le ballon.

Nous avons suivi la méthode de M. LEPAPE, et fait construire des cloches à gaz graduées, de même modèle que celles employées au Laboratoire de l'Institut d'Hydrologie.

Ces cloches ont la forme d'un manchon étranglé à chaque extrémité. Elles sont graduées de 10 cc. en 10 cc., et bouchées hermétiquement aux deux étranglements par un bouchon de caoutchouc. L'un de ces bouchons est percé d'un trou qui livre passage à un



robinet à trois voies. On ferme ce robinet de façon qu'il ne laisse échapper de gaz par aucun de ses tubes. Puis la cloche à gaz est remplie d'eau thermale, et disposée au-dessus de l'entonnoir qui amènera les gaz du griffon. Les gaz s'amassent dans la cloche, dont la partie inférieure est immergée. On prend la température de l'eau. On note la pression atmosphérique et on lit le volume gazeux dégagé après un temps fixé.

Mesure du débit des sources en gaz spontanés

Ces cloches nous ont permis de mesurer le volume de gaz rejeté en une heure au griffon des différentes sources. Malgré ces précautions, il est pour ainsi dire impossible d'obtenir le débit réel, en gaz, de certaines sources. La disposition des captages ne le permet pas toujours. C'est le cas des Sources Saint-Colomban, de la Source Romaine, de la Source Souterraine, de la Source Casquin. Les autres sources sont plus faciles à étudier, surtout lorsque le captage est recouvert d'une dalle de gré ou reliée à une tuyauterie en cuivre fichée normalement à sa surface. Tous les gaz sont recueillis.

Nous avons pu constater un exemple de diminution du débit normal en gaz provoqué par le trajet vertical supplémentaire imposé à l'eau par la tuyauterie placée au captage de cette source. Une fois le griffon de cette source découvert, nous avons obtenu un débit de 370 cc. de gaz à l'heure, au lieu de 31 cc. lorsque les tuyauteries qui relient cette source à la piscine centrale était en place (1).

Voici le tableau indiquant les résultats de nos mesures de débit en gaz des différentes sources thermales. Tous ces débits ont été pris par nous-même. Les mesures concernent le gaz sec ramené à 0° centigrade sous la pression de 760 millimètres de mercure. Le volume est indiqué en nombre de centimètres cubes de gaz dégagé pendant une heure.

(1) La source Casquin ne rejette pas de gaz, sauf lorsque le puits est vidé.

Noms des Sources	Août 1933	Avril 1934	Mai 1934
Source Saint-Colomban	1.100	1.220	975
Source Robinet de Cuivre	4.500	2.300	2.010
Source Robinet de Fer	955	1.420	1.340
Source Souterraine	800	720	696
Source Romaine	120	100	130
Source Tempérée	700	645	820
Grosse Source	2.530	2.500	2.480
Source Féconde n° 1	375	480	480
Source Féconde n° 2	140	160	146
Source de la Promenade	31	370	361

On voit par l'examen de ce tableau que le débit gazeux des sources thermales principales (11 sources) est voisin de 10 litres par heure malgré les pertes considérables qui concernent certaines de ces sources, ce qui représente par jour une émission minimum de 240 litres de gaz sec.

La Source Robinet-de-Cuivre a un débit, tantôt tumultueux, tantôt faible et lent. Il nous est arrivé de remplir une cloche de 500 cc. de gaz en quelques secondes, puis de voir le dégagement gazeux se tarir pendant une dizaine de minutes.

Il ne paraît pas y avoir de relation entre la quantité de gaz rejetés et la température des sources thermales.

Composition des gaz spontanés

L'analyse de ces gaz a été faite par Charles MOUREU en 1906. Ces gaz furent prélevés au Bain de la Promenade. Voici les résultats qu'il a obtenus :

Anhydride carbonique	Traces
Oxygène	4,69
Gaz combustible	Néant
Azote	94,07
Gaz rares en bloc	1,24
Argon	1,042
Hélium	0,198

On notera avec intérêt, dans ces gaz, la présence de simples traces de gaz carbonique, peu d'oxygène, et au contraire une teneur globale en gaz rares importante. Dans le tableau ci-dessous, nous mettons en parallèle la composition de l'air atmosphérique comparée aux gaz thermaux de Bains.

	O ²	CO ²	N ²
	—	—	—
Air atmosphérique	20,99	0,0003	78,03
Gaz thermaux de Bains	4,69	traces	94,07

	Gaz rares en bloc	Hélium	Argon	Emanation
	—	—	—	—
Air atmosphérique	0,00235	0,00235	0,933	1×10^{-18} curie
Gaz thermaux de Bains	1,24	0,198	1,042	$n \times 10^{-9}$ curies

Origine des gaz spontanés thermaux de Bains

L'analyse de Charles MOUREU indique que ces gaz proviennent de l'atmosphère interne pauvre en oxygène. Leur teneur élevée en gaz rares mérite d'être signalée.

On sait en particulier que l'hélium est produit par désintégration des atomes radioactifs. Les roches magmatiques étant les plus riches en radio-éléments, il paraît normal de trouver dans les gaz spontanés des eaux radioactives de Bains un pourcentage élevé d'hélium.

D'autres stations thermales vosgiennes, dont les eaux ont également une origine granitique, ont des gaz spontanés riches en hélium. Ces gaz spontanés peuvent être constatés également au griffon de sources sauvages. Il est vraisemblable que l'analyse de ces gaz décèlera aussi la présence de l'hélium.

En effet une partie de l'hélium de l'écorce terrestre se trouve occlus dans les cristallisations des roches magmatiques sous forme de petites bulles microscopiques; le lixivage des roches siliceuses par les eaux arrache cet hélium au sol.

On donne à ce gaz occlus le nom d'hélium fossile. Il a son origine dans les processus de désintégration des radio-éléments dispersés dans les roches.

La diffusion de l'hélium à travers les roches siliceuses est presque nulle à la température ordinaire. Cependant, au niveau de foyers volcaniques à des températures supérieures à 200° les atomes d'hélium diffusent déjà facilement. Ils peuvent alors se concen-

trer dans des gaz de l'atmosphère interne et s'échapper en profitant du chemin que leur propose des failles profondes.

Cette hypothèse expliquerait pourquoi dans les différents mélanges gazeux naturels observés l'hélium est le seul parmi les gaz rares, dont la proportion n'est pas fixe. Alors que l'argon, le crypton, le xenon gardent entre eux un rapport constant, l'hélium homologue du xenon se retrouve dans les gaz rares en quantité variable suivant les mélanges gazeux considérés (33).

Charles MOUREU, après de patientes recherches sur les gaz de l'atmosphère interne en particulier après avoir analysé de nombreux gaz spontanés thermaux issus de nappes pétrolifères, a fait cette remarque que les proportions élevées du rapport hélium-argon doit généralement caractériser un gaz d'origine profonde. Ce rapport dans le cas des gaz spontanés de Bains d'après l'analyse de Charles MOUREU s'établit à 0,11 alors que le rapport des gaz atmosphériques est seulement de 0,0025.

Tout ceci montre que les gaz thermaux de Bains sont bien d'origine profonde et que leur teneur en hélium est très intéressante.

A la suite de nombreuses observations, M. Adolphe LEPAPE a constaté qu'en hydrologie, les gaz spontanés issus des griffons thermaux, riches en hélium, barbo-taient toujours dans des eaux contenant également du lithium (34).

C'est pourquoi nous avons recherché le lithium dans les eaux de Bains. Sa recherche positive vient encore à l'appui de cette thèse.

MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ DES GAZ SPONTANÉS

On opérera pour cette mesure, de la même façon que pour la recherche de radon dans les eaux.

Une fois l'électroscope de CHENEVEAU et LABORDE monté sur le cylindre, et lorsque la fuite spontanée est mesurée, on fait le vide dans l'appareil et on y introduit les gaz de la manière suivante : on plonge pendant quelques minutes la cloche à gaz dans une cuve remplie d'eau. A cet instant, on note la température de l'eau et la pression atmosphérique afin de connaître le volume de gaz réel sur lequel on opère. On débouche le col qui porte un bouchon de caoutchouc plein, et on lit le volume du gaz sur la graduation de la cloche, en prenant les précautions habituelles. Puis, on relie le robinet à trois voies au cylindre par un tube de caoutchouc, dans lequel on a intercalé un tube d'anhydride phosphorique pour dessécher le gaz avant son introduction dans le cylindre de mesure. Cette manœuvre dure quelques secondes. On commence alors de suite les lectures en opérant de même que pour le dosage du radon dans les eaux thermales.

Afin de pouvoir comparer les résultats avec ceux des autres expérimentateurs, on exprime la radioactivité constatée en millimicrocuries par litre de gaz sec, volume pris à une température de 0° sous 760 mm. de mercure en utilisant la formule de LAPLACE :

$$V_{0^{\circ}}/760^m = \frac{H - F}{760} \cdot \frac{273}{273 + \theta^{\circ}}$$

θ° = température du gaz.

F = tension maxima de la vapeur d'eau à la température θ° .

H = pression atmosphérique.

Coefficient de partage de l'émanation de radium

La solubilité du radon dans l'eau est relativement importante. Cette solubilité diminue avec l'élévation de température. Dans le cas du dosage des gaz radioactifs, par la méthode que nous indiquons, nous ne pouvons que rarement éviter qu'il reste de l'eau dans la cloche à prélèvement.

Comme cette eau est en contact avec le gaz, il faut dans nos calculs, tenir compte d'une correction due à la solubilité du radon dans le petit volume d'eau restant dans la cloche.

Nous aurons donc :

$$\text{Radon total} = \text{Radon de l'eau} + \text{Radon du gaz}$$

Nous introduisons seulement le radon du gaz dans le cylindre de mesures, nous devons donc corriger nos résultats en tenant compte de la valeur du radon dissous dans l'eau.

$$\text{Radon total} = Rg \left(1 + \tau_{\theta} \cdot \frac{V_e}{V_g} \right)$$

où Rg représente le radon contenu dans le gaz ;

V_g le volume de gaz introduit dans le cylindre de mesures ;

τ_{θ} le coefficient de solubilité du radon à la température d'expérience θ° .

V_e le volume d'eau en contact avec le gaz dans la cloche à prélèvement.

La table de KOPFLER indique les valeurs de τ aux diverses températures.

TABLE DE KOPFLER

θ°	τ	θ°	τ
0°	0,510	50°	0,140
5°	0,420	60°	0,127
10°	0,350	70°	0,128
20°	0,255	80°	0,112
30°	0,200	90°	0,109
40°	0,160	100°	0,107

Précisions obtenues dans la mesure de la radioactivité d'un gaz

La précision de la mesure dans la recherche de l'émanation dépend de la mesure du volume V de gaz et de la lecture de la vitesse de chute de la feuille de l'électroscope.

$$\frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta v}{v}$$

La cause d'erreur dans la lecture du volume est importante, car les cloches sont graduées de 10 cc. en 10 cc. Il est difficile d'apprécier au moment de l'introduction des gaz dans le cylindre, leur volume à quelques centimètres cubes près. On peut donc admettre

que l'erreur courante est de 5 cc., soit une demi-division.

Sur un total d'environ 450 cc., cette erreur représente environ $1/100^{\circ}$.

Quant à la vitesse de chute de la feuille d'aluminium, nous avons deux erreurs de lecture. Une au zéro et une à la division 200.

Si comme nous le faisons toujours, nous évitons que la vitesse de décharge due au radon introduit ne soit supérieure à la vitesse de décharge due à l'oxyde d'urane, nous pourrions évaluer à une division près,

soit une erreur de : $\frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{2}{100}$ d'erreur relative maximum.

RÉSULTAT DE NOS MESURES

SOURCES DU BAIN ROMAIN

GAZ DE SAINT-COLOMBAN

Prélèvement au griffon	23 août 1933	7 juin 1934
Analyse du	23 août 1933	12 juin 1934
Volume de gaz sec à 760	502 cc.	423 cc.
Age du gaz	1 h. 15	4 j. 21 h. 40
Correction due à l'âge du gaz..	0,982	0,612
Fuite spontanée du cylindre ...	0,05	0,0052
Vitesse (V - F) due à l'oxyde d'urane étalon	8,6	8,00
Vitesse (v - f) due au radon...	1,12	3,57
Radon en millimicrocuries	58	56,3

SOURCES DU BAIN ROMAIN

	Source F	Source Robinet de Cuivre	Source Souterraine	Source Robinet de Fer
Prélèvement au griffon	21 mai 14 h. 05	21 mai 15 h.	21 mai 14 h. 30	13 mai 12 h. 20
Analyse du	23 mai 12 h. 15	25 mai 12 h.	22 mai 12 h. 30	15 mai 19 h. 30
Volume du gaz	504 cc.	471 cc.	411 cc.	451 cc.
Age du gaz	1 j. + 22 h.	3 j. + 21 h.	22 heures	2 j. + 7 h. 10'
Correction due à l'âge du gaz	0,707	0,495	0,847	0,660
Fuite spontanée du cylindre	0,0046	0,0049	0,0042	0,0044
Vitesse (V—F) de l'oxyde d'urane étalon.	8,060	8,00	8,06	8,01
Vitesse maxima (<i>v—f</i>) due au radon..	5,900	5,26	5,800	6,25
Radon en millimicrocuries par litre de gaz sec	45,6	50,8	45,2	58

SOURCE DU BAIN ROMAIN

	Source Tempérée	Source Romaine
Prélèvement au griffon	13 mai 13 heures	13 mai 12 h. 30
Analyse du	16 mai 15 heures	14 mai 21 heures
Volume du gaz	460 cc.	440 cc.
Age du gaz	3 j. 2 h.	1 j. 8 h. 30
Correction due à l'âge du gaz..	0,5	0,783
Fuite spontanée	0,0046	0,0044
Vitesse (V—F) d'oxyde d'urane.	8,06	8,0
Vitesse ($v—f$) maxima	5,0	7,14
Radon en millimicrocuries	55,6	56,8

SOURCE DU BAIN DE LA PROMENADE

	Source de la Promenade	Source Féconde N° 1	Source Féconde N° 2
Prélèvement	7 mai 34 9 h. 50	4 mai 34 12 h. 20	4 mai 34 13 heures
Analyse du	10 mai 34 9 h. 40	11 mai 34 14 h. 15	12 mai 34 15 heures
Volume du gaz	600 cc.	509 cc.	306 cc.
Age du gaz	3 jours	7 j. + 2 h.	8 j. + 2 h.
Correction due à l'âge du gaz	0,5806	0,277	0,231
Fuite spontanée du cylindre	0,005	0,005	0,0053
Vitesse (V—F) de l'oxyde d'urane étalon.	8,000	8,020	8,016
Vitesse ($v—f$) maxima due au radon ..	5,10	3,36	1,90
Radon en millimicrocuries par litre de gaz sec	40,4	68,9	70,2

TABLEAU GÉNÉRAL
DE LA RADIOACTIVITÉ DES EAUX DE BAINS
EN RAPPORT AVEC LA FAILLE GRANULITIQUE

	Radio- activité — (en millimi- crocuries)	Hororadio- activité — (en micro- curies)	Puissance radioactive — (en milligr. de radium)
<i>Sources du Bain Romain:</i>			
Source Saint-Colomban	5,50	29,70	3,96
Source Robinet de Cuivre..	7,50	6,75	0,90
Source Robinet de Fer	7,45	13,41	1,78
Source Souterraine	6,95	6,25	0,86
Source Romaine	5,45	1,92	0,25
Grosse Source	7,02	11,37	1,51
Source Tempérée	7,00	3,36	0,44
Source de la Vache	11,90	1,78	0,23
<i>Sources du Bain de la Promenade:</i>			
Source Casquin	10,60	26,07	3,47
Source Féconde N° 2	13,90	43,36	5,79
Source Féconde N° 1	11,20	34,94	4,65
Source de la Promenade ...	7,20	45,36	6,05
<i>Sources froides du Parc:</i>			
Source de la Potinière	1,35	2,43	0,32
Source du Parc	13,00	31,20	4,16
Source du Moulin	14,00	18,36	2,44

D'après les résultats que nous avons obtenus dans nos dosages de radioactivité, nous pouvons, en groupant les sources d'après la position de leur émergence, distinguer trois groupes de sources de radioactivité moyenne différente :

Source du Bain Romain (huit sources)	7,3
Source du Bain de la Promenade (quatre sources)	10,7
Sources froides du Parc (deux sources)	13,5

TABLEAU DE LA RADIOACTIVITÉ DES GAZ SPONTANÉS

Sources	Radio- activité (en milli- microcuries)	Hororadioactivité (en microcuries d'émanation)	Puissance radioactive (en milligr. de radium)
Saint-Colomban	58,00	0,063	0,0083
Robinet de Fer	60,00	0,072	0,0096
Robinet de Cuivre ...	59,90	0,112	0,0140
Souterraine	45	0,036	0,0048
Romaine	56,3	0,0067	0,0009
Tempérée	56	0,0448	0,0059
Grosse Source	45	0,1344	0,0170
Source Casquin	22,5	0,015	0,0020
Féconde N° 1	68,9	0,0262	0,0034
Féconde N° 2	70,2	0,0042	0,0005
De la Promenade	40,4	0,0129	0,0017

RÉSUMÉ

Nous pouvons de cette étude sur la radioactivité des eaux de Bains dégager quelques remarques intéressantes.

I. — La radioactivité de l'eau prélevée au griffon des sources froides ou chaudes est due à la présence d'émanation de radium en dissolution dans l'eau.

Cette radioactivité est très importante. Elle oscille entre 5 et 14 millimicrocuries suivant les sources considérées.

II. — Au point de vue géologique nous avons constaté que les eaux froides qui traversent uniquement les assises gréseuses ne sont pas, ou sont très peu radioactives.

Par contre toutes les eaux froides ou chaudes analysées, issues de la faille granulitique, sont fortement radioactives.

Les eaux thermales et les gaz spontanés des sources, captées au Bain de la Promenade, sont plus radioactifs qu'au Bain Romain.

III. — Les eaux froides du Parc, qui traversent également les roches granitiques, sont aussi fortement chargées en émanation que les eaux les plus radioactives du Bain de la Promenade. Il semble que ces sources pourraient être utilisées dans un but thérapeutique. Seule la source de la Potinière nous paraît un mélange d'eaux des grès et d'eaux provenant d'une veine thermique. Cette hypothèse pourrait expliquer sa faible radioactivité.

TABLEAU DE LA RADIOACTIVITÉ DES SOURCES DE BAINS

Eau de Saint-Colomban	5,50
Eau de la Source Souterraine	6,95
Eau de la Source Romaine	5,45
Eau de la Source Tempérée	7,00
Eau de la Grosse Source	7,02
Eau de la Source Robinet de Fer	7,45
Eau de la Source Robinet de Cuivre	7,50
Eau de la Source de la Vache	11,90
Eau de la Source Casquin	10,60
Eau de la Source Féconde N° 1	11,20
Eau de la Source Féconde N° 2	13,90
Eau de la Source de la Promenade	7,20
Eau de la Source de la Potinière	1,35
Eau de la Source du Parc	13,00
Eau de la Source du Moulin	14,00

Stations Thermales	Radioactivité en millimicrocuries		Puissance radioactive en milligr. de radium
	Gaz	Eau	
Bagnères-de-Luchon (Source Lepape)		41,5	3,7
La Bourboule (Source Choussy)		20,5	68,80
Vernet (Source Providence) . .	115,9	15,5	17,1
Royat (Source St-Victor)	35	15,3	0,98
Plombières (Source Lambinet)		14,1	1,9
Bains (Source Féconde)	70	14,0	5,79
La Chaldette	88,9	13,1	3,1
Bussang (Source Grande-Salmade)		9,5	18,1
Luxeuil (Bain des Dames) . .	8,9		
Vichy (Chomel)		4,10	0,393
Evian		4,2	
Bagnoles-de-l'Orne (Grande Source)	2,5	0,73	0,2
La Roche-Posay		0,61	
Contrexéville		0,61	
St-Nectaire (Source Rouge) . .	2,2	0,54	
Vittel (Grande Source)		0,41	
Vichy (Hôpital)	0,02	0,14	0,005
Uriage	0,95	0,10	

IV. — La Source de la Vache au Bain Romain, d'un débit modeste, est cependant intéressante parce que sa radioactivité est très supérieure à celle des autres sources de cet établissement. Nous expliquons ce fait en supposant que l'eau thermale n'atteint le griffon de cette source qu'après de nombreuses sinuosités dans les roches radifères, ce qui lui permet à la fois de se charger en émanation de radium et se refroidir notablement.

V. — Les deux sources thermales utilisées en boisson : Source Saint-Colomban et Source Casquin présentent, entre elles, une teneur en émanation très différente. Alors que la Source Saint-Colomban contient 5,5 millimicrocuries de radon, la Source Casquin dissout le double d'émanation.

VI. — En examinant le tableau général de la radioactivité des Sources de Bains, on voit que la puissance radioactive de cette station correspond à 36,81 milligrammes de radium. Ce chiffre important de radium-élément montre que le sous-sol de Bains est formé de roches riches en corps radioactifs.

Enfin le tableau que nous avons dressé ci-contre montre par comparaison que les eaux thermales de Bains doivent être classées parmi les sources minérales françaises les plus radioactives. Nous avons emprunté beaucoup de ces résultats à l'étude faite en 1924 par M. Adolphe LEPAPE sur les eaux minérales radioactives françaises (34).

CONCLUSIONS

L'ensemble de ces recherches nous a permis d'obtenir quelques précisions sur la géologie de la région de Bains et d'acquérir de nouvelles connaissances sur les sources thermales de cette station.

I. — Au point de vue hydrogéologique, les eaux thermales de Bains sont vraisemblablement en relations avec un foyer éruptif profond d'où elles tirent leur origine, soit par réchauffement d'eaux météoriques, soit par fusion ignée des roches, suivant la théorie d'Armand GAUTHIER. Elles ressemblent en cela aux eaux minérales de Plombières, Luxeuil et Bourbonne-les-Bains. Toutes ces stations thermales, ainsi que les sources chaudes sauvages de la région vosgienne sont géographiquement placées sur la partie ouest de la chaîne des Vosges.

Les eaux thermales de Bains parcourent, en sous-sol, le noyau archéen vosgien, vestige d'une ancienne chaîne, formée de roches schisteuses et granitiques. Elles arrivent, en surface, par les diaclases et les cheminées naturelles de la faille granulitique qui traverse la ville de Bains.

La fracture principale, permettant aux eaux d'atteindre la surface du sol, est certainement placée sous

le Bain Romain. Cette conclusion se dégage des observations faites sur la température élevée et le débit gazeux important des sources captées dans cet établissement.

Une autre fracture favorise la montée des eaux thermales captées au Bain de la Promenade. Ces sources sont moins chaudes, ont un débit gazeux moins important et moins régulier qu'au Bain Romain, ce qui nous fait penser que cette fracture n'est *qu'un bras latéral de la fracture principale*.

Enfin, des veines thermales, de moins en moins chaudes alimentent quelques filets d'eau tiède aux environs du Parc.

Voici, en quelques mots, ce que nous pensons pouvoir souligner comme résultats de nos recherches :

I. — Nos analyses chimiques montrent que les eaux thermales de Bains sont *oligo-salines, et présentent qualitativement et quantitativement de nombreuses similitudes*.

Toutes renferment *en moyenne 25 % de silice*, toutes sont *très pauvres en éléments calcaires*; toutes présentent le sodium comme élément alcalin dominant.

Bien que faiblement minéralisées, les eaux thermales de Bains sont cependant plus riches en éléments dissous que les sources froides de la région. Nous pouvons donc admettre que c'est dans les couches géologiques profondes que ces eaux empruntent leurs éléments minéraux dissous.

Enfin, nous avons caractérisé et dosé dans ces eaux plusieurs corps non encore mentionnés dans les analyses antérieures : le *fluor*, le *magnésium*, le *potassium*.

III. — Nos recherches physico-chimiques mettent en évidence l'opposition des caractères entre les sources chaudes et les sources froides de la région de Bains. De plus, ces recherches nous apportent la certitude que les eaux thermales de Bains gardent jalousement leur composition d'origine. Malgré les différences de température constatées au griffon des diverses sources, nos mesures de résistivité montrent que les eaux thermales de Bains ne se mélangent pas dans leur parcours souterrain à des eaux étrangères.

La spectrographie des eaux, complète à la fois, notre étude physique et nos analyses chimiques. Elles nous a permis de noter l'existence de nombreux métaux à faibles doses, parmi lesquels nous notons avec intérêt : le *lithium*, le *zirconium*, le *titane* et le *vanadium*.

IV. — Enfin, nos mesures de radioactivité confirment les premières recherches faites en 1903 par P. CURIE et LABORDE. La teneur en radon des eaux a été déterminée pour toutes les sources et pour tous les gaz thermaux.

— *Toutes les sources thermales de Bains sont très radioactives. Il en est de même des gaz rejetés à leur griffon.*

— Les variations de radioactivité des différentes sources sont très faibles.

— Les eaux thermales et les gaz spontanés au Bain de la Promenade sont plus radioactifs qu'au Bain Romain.

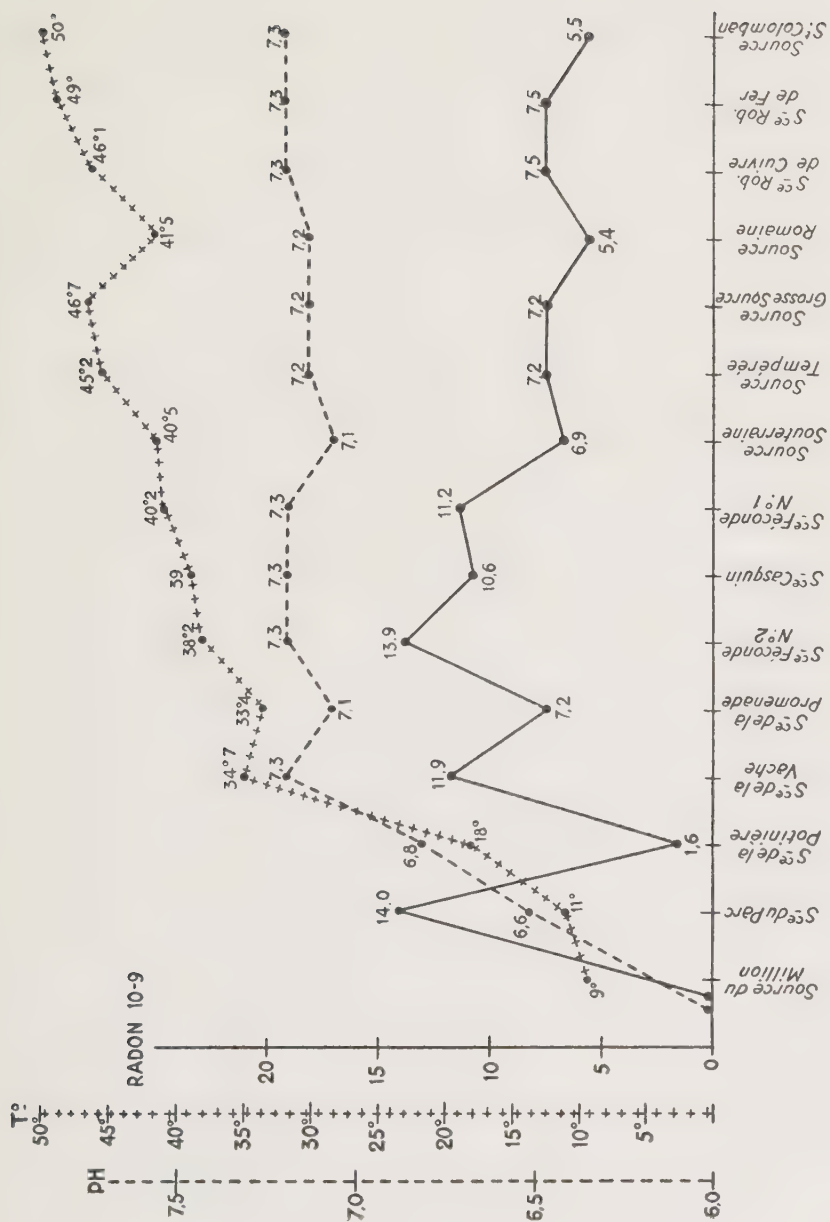
— *Les eaux froides issues de la faille granulitique sont également très radioactives.* Par contre, les eaux qui traversent les grès ne contiennent que peu ou pas de radon.

En rapprochant les résultats obtenus dans nos dosages de radioactivité, des résultats de nos analyses chimiques et physico-chimiques, nous constatons que les eaux les plus chaudes sont les plus minéralisées, mais non pas les plus radioactives.

	Température	Résistivité à 18°	Extrait sec en milligr.	Teneur en Radon
Eau froide des grès..	10°	12.000 à 50.000	moins de 50	0 à 1
Eau de la granulite...	10°	12.000	55	10 à 14
Eau des Sources thermales	33 à 51°	2.200 à 2.600	380 à 450	5 à 14

En regardant le graphique ci-joint, nous constatons en effet que les eaux de la Source Casquin et de la Source Saint-Colomban, utilisées en boisson, dont les constantes physico-chimiques sont très voisines, présentent une radioactivité qui varie du simple au double.

Bains met ainsi, naturellement, à la disposition des baigneurs, des eaux stables qui se présentent au grifon des sources sans pollution physique. Elles permettent aux médecins, suivant les besoins de la cure, d'utiliser des eaux plus ou moins riches en éléments radioactifs, mais d'une composition chimique identique et d'un effet thérapeutique certain.



VU:
Le Président de Thèse,
Nancy, le 19 Juin 1936.
P. SEYOT

VU ET APPROUVÉ:
Nancy, le 19 Juin 1936.
Le Doyen de la Faculté de Pharmacie,
PASTUREAU

VU ET PERMIS D'IMPRIMER
Nancy, le 19 Juin 1936.
Le Recteur de l'Académie,
BRUNTZ,
Président du Conseil de l'Université.

BIBLIOGRAPHIE

1. ARNOLD. — *Les eaux thermo-minérales de Bains-les-Bains*. Thèse de Médecine, Strasbourg, 1926.
2. BAILLY (D^r). — *Les eaux minérales de Bains-en-Vosges*.
3. OLIVIER (Abbé G.). — *Bains-les-Bains*.
4. MARTIN (H.). — *Bains-les-Bains*. Braun et C^{ie}, Mulhouse.
5. NICOLAS. — *Dissertation chimique sur les eaux minérales de Lorraine* (1778). Nancy, Thomas, éditeur.
6. BOULOUMIE (A.). — *Guide des eaux minérales des Vosges*. 1879.
7. CHARTON. — *Les Vosges pittoresques et historiques*. 1881.
8. THIRRIAT. — *Essai sur les eaux de Bains*. Paris, 1808.
9. HOGARD. — *Système des Vosges*. (Société d'Emulation des Vosges, 1832, p. 119).
10. VELAIN. — *Carte géologique de la France*, feuille d'Epinal.
11. VERNADSKY. — *Géochimie*. F. Alcan, éditeur, 1932.
12. GRELOT (P.). — *Cours d'hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Nancy*.
13. URBAIN. — *Annales de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie*. Collège de France, tome X, fasc. 5.
14. TOUPLAIN. — *Analyse générale des eaux*. Libr. Polytechnique, éditeur Ch. Beranger.
15. CHARRONNET (R.) et M^{lle} ROCHE. — *C.R. Académie des Sciences*, tome 199, 1934.
16. CASARES (J.-R.). — *Bulletin de la Société de Chimie*. 4-50-1931.
17. LEULIEZ-VELLEZ. — *Bulletin de la Société de Biologie*, tome X, 25 mai 1928.
18. NICLOUX. — *C.R. de la Société de Biologie*. Tome 105, 1931.

19. KOPACZEWSKI. — *La physico-chimie des eaux minérales.*
20. GOSSELIN. — *Dosage du calcium.* Journal de Pharmacie et Chimie, t. II, 1900.
21. GIRARDOT. — *Contribution à l'étude des eaux d'alimentation.* Thèse de la Faculté de Pharmacie de Nancy, 1934.
22. KABRANE. — *Bulletin de la Société de Chimie.* Avril 1930, 4-47-382.
23. BARDET. — *Recherches spectrographiques et analytiques sur les eaux minérales françaises.* Paris, 1914.
24. CURIE (M^{me}). — *Traité de radioactivité.* Tomes I et II, 1910, Gauthiers-Villard.
25. SODDY. — *Le radium.* Traduction d'Adolphe LEPAPE.
26. GESLIN et CHAHNAZAROFF. — *Annales Guebhard-Severine*, 9^e année, 1933.
27. CURIE (P.) et LABORDE (A.). — *C.R. Académie des Sciences.* 1904, tome 138 - 1906, tome 142.
28. MOUREU (Ch.) et LEPAPE (A.). — *Annales des Mines.* 1909.
29. LEPAPE (Adolphe). — *C.R. Acad. des Sciences*, tome 175, 1920, pages 731-733. — *C.R. Acad. des Sciences*, tome 176.
30. LEPAPE (Adolphe). — *C.R. Acad. des Sciences*, tome 190, 1930.
31. CURIE (Irène) et JOLLIOT (J.). — *C.R. Acad. des Sciences*, tome 196, 1933, page 397.
32. LEPAPE (Adolphe). — *Annales de l'Institut d'Hydrologie et Climatologie*, tome II, janv. 1924.
33. MOUREU (Ch.). — *Les gaz rares des sources thermales.* (Journal de Chimie-Physique, 1913).
34. LEPAPE (Adolphe). — *L'œuvre hydrologique de Ch. Moureu et le problème de l'origine de l'hélium.* Annales de l'Institut d'Hydrologie et Climatologie, tome 8, 1932.
35. LEPAPE (Adolphe). — *Annales de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie*, années 1924 à 1935.
36. BROCHET (A.). — *C.R. Acad. des Sciences*, tome 150, 1910.

TRAVAUX PUBLIÉS SUR LES EAUX THERMALES DE BAINS

- ARNOLD. — Les eaux thermo-minérales de Bains-les-Bains. Thèse Strasbourg, 1926.
- MATHIEU (A.) et LASSANCE (Vital). — Bains-les-Bains, station des artériels. 1 broch. 1928, Lebois frères, édit.
- La douleur dans les syndromes artériels et la cure de Bains-les-Bains.
- Les syndromes vasculaires neuro-végétatifs et la cure de Bains-les-Bains. *Les Vosges Thermales*, avril 1928.
- HENRY (D^r H.). — L'examen des hypertendus. Considérations générales sur leur traitement. (Concours médical du 22 avril 1928: *La cure de diurèse chez les hypertendus*). Hôpital, avril 1929 (A).
- *Les petits azotémiques et la cure de diurèse* (Hôpital, avril 1930) (B).
- *Traitement des troubles circulatoires artériels des membres inférieurs* (Hôpital, avril 1933) (A).
- LASSANCE (D^r Vital). — Les stations de cure pour cardio-vasculaires. *Cours de Thérapeutique de la Faculté de Médecine de Paris*, 1928.
- Cours de Thérapeutique de la Faculté de Médecine de Paris, 1928.
- La cure de Bains-les-Bains dans l'angine de poitrine, XII^e Congrès international d'Hydrologie, Lyon, 1927.
- L'angine de poitrine et son traitement hydro-minéral. *Société d'Hydrologie de Paris*, 15 janvier 1927.
- Hypotension et cures thermales. XX^e Congrès de Médecine, Montpellier, 1929.

- La cure de Bains-les-Bains dans l'angine de poitrine. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 26 mai 1931.
- Cures thermales et système neuro-végétatif. *Rapport à la séance solennelle de la Société d'Hydrologie de Paris*, mars 1931.
- L'hypertension artérielle (Vol. Maloine, édit., 1931, p. 288).
- Le traitement thermal dans les affections vasculaires périphériques. *Rapport à la séance solennelle de la Société d'Hydrologie de Paris*, 20 mars 1933.
- Le rôle du terrain dans l'angine de poitrine. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 16 février 1934.
- Le terrain dans l'angine de poitrine. *Le Monde Médical*, 15 avril 1934.
- Comment en pratique classer les hypertendus. *Bull. de la Société Médicale des Praticiens de Paris*, mars 1935.
- La myocardose. *Le Monde Médical*, 15 avril 1935.
- Les maladies des artères. *Revue annuelle*, 7 broch. parues en 1927, 1928, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933, 1934 (à suivre).
- L'hypertension artérielle et la cure de Bains-les-Bains. (Conférence faite à la Société Médicale du Louvre, Paris, 12 mars 1934. — Cf. Société Méd. de Praticiens à Paris, mars 1935).
- D^{re} SANTENOISE (D.), MERKLEN (L.), VIDACOVITCH (M.). — Action de l'eau de Bains-les-Bains sur le système neuro-végétatif. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 12 avril 1932.
- Etude physiologique du mode d'action de l'eau de Saint-Colomban sur la pression artérielle. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 7 février 1933.
- MASSOT (Thèse de Doctorat). — De l'action de quelques eaux minérales vosgiennes sur le système-neuro-végétatif. *Travail de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie de la Faculté de Médecine de Nancy* (Nancy, Société d'Impr. typ., 1932).

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
AVANT-PROPOS ,.....	9
SITUATION GÉOGRAPHIQUE	11
HISTORIQUE	13

PREMIÈRE PARTIE

HYDROGÉOLOGIE

CHAPITRE PREMIER. — <i>La Vôge et le Massif Vosgien.</i>	25
CHAPITRE II. — <i>Les terrains et les roches</i>	29
CHAPITRE III. — <i>Les sources</i>	37

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES CHIMIQUES

CHAPITRE PREMIER. — <i>Les eaux thermales</i>	43
CHAPITRE II. — <i>Les eaux froides</i>	77

TROISIÈME PARTIE

RECHERCHES PHYSICO-CHIMIQUES

	Pages
CHAPITRE PREMIER. — <i>Mesures électriques</i>	85
CHAPITRE II. — <i>Thermalité des eaux de Bains</i>	99
CHAPITRE III. — <i>Mesure colorimétrique du Ph</i>	107
CHAPITRE IV. — <i>Recherches spectrographiques</i>	113

QUATRIÈME PARTIE

RADIOACTIVITÉ

CHAPITRE PREMIER. — <i>Généralités</i>	119
CHAPITRE II. — <i>L'émanation de radium ou radon</i> ...	127
CHAPITRE III. — <i>Mesure du radon</i>	139
CHAPITRE IV. — <i>Radioactivité des eaux minérales de Bains</i>	157
Radioactivité des eaux	157
Radioactivité des gaz spontanés thermaux	184
CONCLUSIONS	205
BIBLIOGRAPHIE	211
TRAVAUX PUBLIÉS SUR LES EAUX THERMALES DE BAINS.	213

